

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

## **Vakuové mechanismy**

## Vacuum Mechanisms

Student:  
Vedoucí bakalářské práce:

Ladislav Carbol  
Ing. Kamil Fojtášek, Ph.D.

Ostrava 2019

## Zadání bakalářské práce

Student: **Ladislav Carbol**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení**  
Téma: **Vakuové mechanismy**  
**Vacuum Mechanisms**  
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte rešerši k problematice vakuové techniky.
- 2) Proveďte přehled výpočetních softwarů a konfigurátorů výrobců vakuové techniky.
- 3) Pro zadaný případ proveďte výpočet a návrh ejektoru a přísavky.
- 4) Funkci navrženého řešení ověřte experimentálně a výsledky porovnejte s konfigurátory výrobců vakuové techniky.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy Díl I. - Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005. 275 s. ISBN 80-248-0879-X.

KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training - Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.

BEATER, P. *Pneumatic Drives: System Design, Modeling and Control*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3540-69470-0.

MURRENHOFF, H., REINERTZ, O. *Fundamentals of Fluid Power Part 2: Pneumatics*. Aachen: Shaker Verlag, 2014. 333 p. ISBN 978-3-8440-3213-0.

Odborné příspěvky a internetové zdroje zabývající se danou problematikou.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Kamil Fojtášek, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

**Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

**V Ostravě dne 20. května 2019**

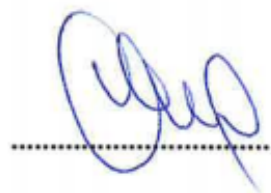


**Podpis studenta**

### **Prohlašuji, že**

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečné ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s právněním užít dílu v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílu – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

**V Ostravě dne 20. května 2019**



**Podpis autora práce**

Jméno a příjmení autora práce:

Ladislav Carbol

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Kunčičky 80, Baška, 739 01

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

CARBOL, L. *Vakuové mechanismy: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2019, 65 s., Vedoucí práce: Fojtášek, K.

Bakalářská práce se ve svém úvodu zabývá teoretickým přehledem k problematice vakuových mechanismů, zejména aplikacím s využitím přísavek. Poté následuje praktický příklad, který se týká aplikace kolaborativního robota ve výrobě v automobilovém průmyslu. Konkrétně se jedná o mechanismus pro manipulaci se svazkem hliníkových trubek. V průběhu práce je nabízen rozbor řešeného problému, pohled a stručné představení možných variant řešení. Vzhledem k povaze a zadání své práce, jsem se rozhodl pro realizaci řešení s využitím vakuových přísavek. V průběhu řešení jsou uplatněny metody výpočetní, praktické – formou laboratorního pokusu a také jsou aplikovány dostupné konfigurátory vakuové techniky.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

CARBOL, L. *Vacuum Mechanisms, Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulics Equipment, 2019, 65 p. Thesis head: Fojtášek, K.

The beginning of this thesis deals with a theoretical summary of vacuum mechanisms, focused on applications with vacuum pads. Afterwards a practical example is described. It is related to application of collaborative robot designed for use in production in Automotive Industry. Specifically, it is used for a manipulation with flat tubes made of aluminium. A couple of ideas for solving this issue is mentioned and very briefly described. Due to the topic of my thesis, I decided to go on with an application of vacuum pads. In my solution, there are used some of the computational methods, a practical experiment and application of available vacuum components selectors.

## Obsah

Obsah .....	6
Seznam použitých značek a veličin .....	7
1. Úvod.....	8
2. Vakuové mechanismy.....	9
3. Ejektory a vývěvy .....	9
3.1. Mechanické vývěvy .....	10
3.2. Proudové ejektory.....	12
3.3. Srovnání ejektorů a mechanických vývěv .....	15
3.4. Základní fyzikální parametry .....	15
3.5. Funkční blok zdroje vakua .....	16
4. Přísavky.....	18
4.1. Rozdělení přísavek .....	19
4.2. Materiál přísavek.....	21
4.3. Použití přísavek .....	22
4.4. Způsoby připojení přísavek .....	23
4.5. Ventily v přípojích.....	26
4.6. Zásady pro výběr přísavky .....	27
5. Přehled konfigurátorů vakuové techniky .....	28
5.1. Konfigurátor SMC .....	28
5.2. Konfigurátor FESTO .....	29
5.3. Konfigurátor AVENTICS .....	30
6. Praktický příklad .....	31
7. Experimentální ověření v laboratoři.....	36
8. Výpočtová část návrhu obvodu s využitím vakua .....	39
9. Aplikace konfigurátorů od výrobců vakuové techniky pro praktický příklad.....	46
9.1. Konfigurátor FESTO .....	46
9.2. Konfigurátor SMC.....	53
9.3. Konfigurátor AVENTICS .....	57
10. Souhrn dosažených výsledků .....	59
11. Závěr .....	60
Použitá literatura .....	63

## Seznam použitých značek a veličin

Značka	Název veličiny	Jednotka
a	Akcelerace zařízení	[m/s <sup>2</sup> ]
D	Průměr přísavky	[mm]
F <sub>h</sub>	Teoretická síla	[N]
g	Gravitační zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
m	Hmotnost	[kg]
n	Počet přísavek	[ks]
p	Tlak (vakuum)	[Pa]
s	Součinitel bezpečnosti	[-]

## 1. Úvod

Problematika vakuových mechanismů si neustále říká o zvýšenou pozornost. Zkrátka a dobře, aplikace pneumatických prvků nachází v praxi stále větší oblibu, a to nejen při snaze o automatizaci, ale zejména díky své jednoduchosti a dostupnosti. Onu dostupnost podporuje konkurenceschopné prostředí na trhu. Již v dnešní době máme nepřeberné množství kvalitních dodavatelů, kteří jsou schopni uspokojit takřka každý požadavek svého zákazníka. Konkurenceschopné prostředí napomáhá ke zvyšování dostupnosti, variability a komplexnosti nabízených produktů.

V této práci se zaměřím na problematiku vakuových mechanismů. Na úvod se budu věnovat teoretické rešerši, kde rozeberu základní prvky obvodů s využitím vakua, jejich vlastnosti, funkci a použití v praxi. Ve druhé části práce budu řešit praktický příklad, který vychází z problému, který aktuálně řešíme ve společnosti, kde pracuji. Kromě výpočtové části se podívám také na volně dostupné konfiguratory usnadňující výběr vakuových prvků a provedu praktické ověření svých hypotéz formou laboratorního pokusu.



## **2. Vakuové mechanismy**

Vakuová technika využívá energii podtlaku (vakua), nikoliv stlačeného vzduchu, jak tomu je u pneumatických mechanismů. Srdcem vakuových mechanismů je zdroj vakua, kterým je ejektor či vývěva. Podtlak vytváří potřebnou přídržnou sílu pro uchopení manipulovaných předmětů. Fyzikálních vlastností vakua lze využít pro manipulaci s předměty různých rozměrů i hmotností. Aplikace vakuové techniky najdou uplatnění v širokém spektru transportních, manipulačních, balících či například tiskařských strojů a zařízení, [1], [2].

### **Vakuum**

Ideální vakuum je definováno jako stav plynu, kdy je tlak, tedy hustota počtu částic v nádobě nižší, než jak tomu je v okolí této nádoby. Také se dá definovat, jako látka plynného skupenství, s hustotou nižší než je hustota atmosféry na povrchu zemském. Z tohoto pohledu lze vakuum označit jako stav plynu, jehož tlak je menší než tlak atmosférický. V našich aplikacích budeme hovořit o vakuu dosahujícím maximálně 90% teoreticky dosažitelné hodnoty vakua. Pro aplikace využívající vyšší energie, se uplatňují tzv. urychlovače částic, [2], [3].

Obecně se vakuum využívá k uchycování předmětů pomocí přísavek. Tento způsob manipulace najde své uplatnění zejména v aplikacích, kdy jsou kladeny vysoké požadavky na šetrnost aplikace. Jsou vhodné zejména pro manipulaci s předměty s pevnou, neprodyšnou strukturou a s hladkým povrchem pro styk s přísavkou, [1], [2].

### **Vznik vakua**

K dosažení podtlaku, tedy ke snížení hodnoty atmosférického tlaku vzduchu, se používají mechanické vývěvy či proudové ejektory. Ejektor a vývěva jsou druhy proudových čerpadel, sloužících k dopravě tekutin pomocí kinetické energie jiné tekutiny. Ke své činnosti potřebují vodu nebo páru pod tlakem, [2].

## **3. Ejektory a vývěvy**

Obecně slouží ke snížení tlaku plynu v uzavřeném objemu. Jsou definovány fyzikálními veličinami, jako je mezní tlak, čerpací rychlost, pracovní a výstupní tlak. Jejich konstrukce vychází z principu Venturiho trubice, [8].

## **Rozdělení**

Následující typy slouží k transportu molekul z čerpaného prostoru, [8].

- Mechanické vývěvy
- Proudové ejektory
- Vývěvy založené na tepelné rychlosti molekul

Následující vývěvy fungují na principu bez transportu molekul, [8].

- Kryosorpční (kryogenní) vývěvy
- Sublimační vývěvy
- Iontové vývěvy
- Getrové vývěvy
- Zeolitové vývěvy

Níže se blíže zaměřím na mechanické vývěvy a na proudové ejektory.

### **3.1.Mechanické vývěvy**

Pracují na stejném principu, jako kompresory. Oblast, ve které vyžadujeme vytvoření požadované úrovně vakua, je připojena na část sání vývěvy. Část objemu je z tohoto prostoru odsávána a vypouštěna přes výfuk vývěvy do atmosféry. V tomto bodě se tlak vzduchu sníží pod hodnotu atmosférického tlaku, což je jev označovaný, jako vakuum, [2].

Níže uvádím nejčastější typy mechanických vývěv.

#### **Odsávací ventilátor (dmychadlo)**

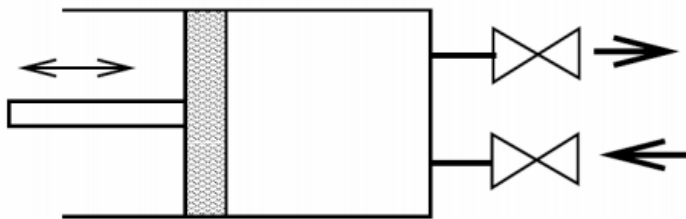
Výhodou tohoto zařízení je malá spotřeba energie, možnost nasávání velkého objemu vzduchu a malý počet pohyblivých dílů konstrukce, Obr. 1. Avšak velkým nedostatkem je značná hlučnost, dlouho trvající rozběh i doběh a nízká hodnota dosaženého vakua, [2].

#### **Pístová vývěva**

Velkou předností pístového provedení je jeho nízká pořizovací cena, Obr. 2. Naopak nevýhodou je vysoký vývin tepla a malý objem odsávaného vzduchu, [2].



Obr. 1 Příklad odsávacího ventilátoru, neboli dmyhadla, [10]



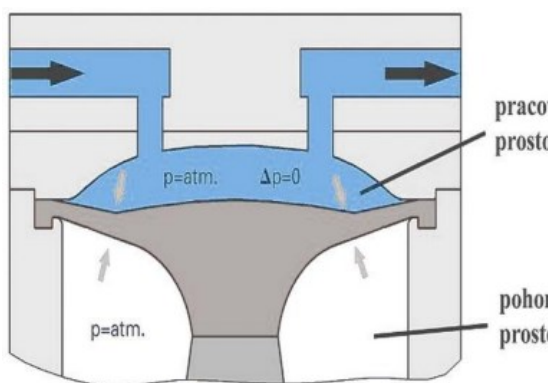
Obr. 2 Pístová vývěva, [7]

### Membránová vývěva

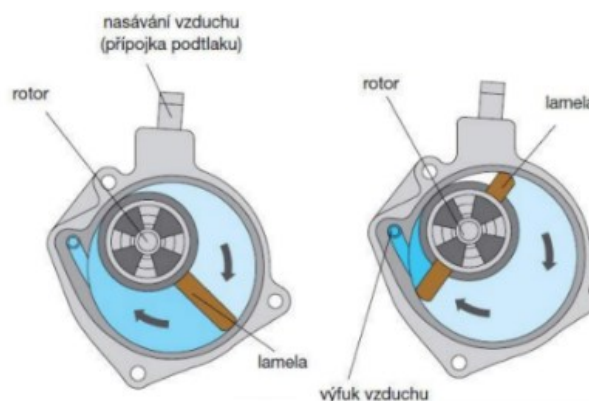
Aplikace s nízkou pořizovací cenou, ve velice kompaktním provedení, Obr. 3. Velkou nevýhodou je vysoká hlučnost zařízení, [2].

### Rotační vývěva s rotorem a výsuvnými lopatkami

Tato aplikace dosahuje vysoké hladiny vakua, dokáže odsávat velký objem vzduchu a není hlučná, Obr. 4. Avšak je poměrně citlivá na nečistoty obsažené ve vzduchu, což klade vysoké požadavky na údržbu. Také vyvíjí velké množství tepla a má vysokou pořizovací cenu, [2].



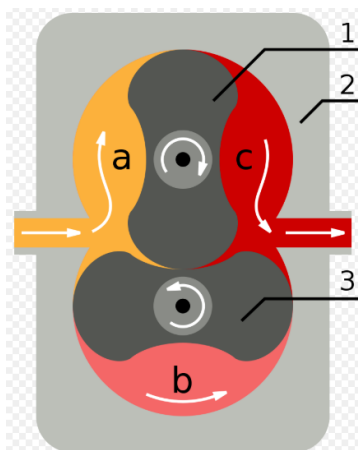
Obr. 3 Membránová vývěva, [8]



Obr. 4 Rotační vývěva, [8]

## Rootsovo dmychadlo

Oproti rotačním vývěvám je tento typ vývěv méně náročný na údržbu, Obr. 5. Dokáže odsát velký objem vzduchu, avšak je velmi hlučný a vyvíjí velké množství tepla. Navíc disponuje vysokou pořizovací cenou, [2].



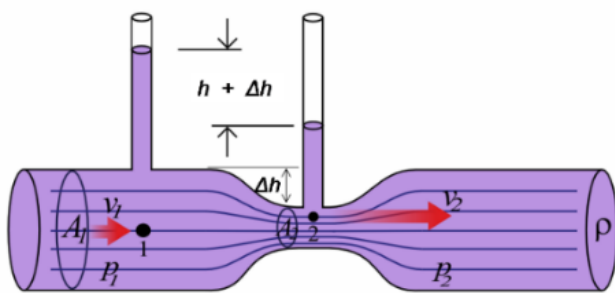
Obr. 5 Rootsovo dmychadlo, 1,3 – rotor, 2 – těleso dmychadla,  
a – nasávání, b – přeprava, c – stlačování, [8]

### 3.2 Proudové ejektory

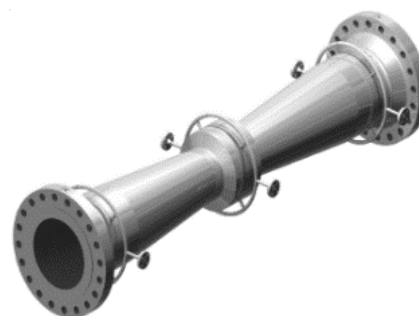
Jejich činnost je založena na principu Venturiho trubice, Obr. 6. Do trysky ejektoru je přiveden primární zdroj energie, tedy stlačený vzduch, voda či vodní pára. Proudové vývěvy dělíme na jednostupňové či vícestupňové dle počtu obsažených trubic, Obr. 7, [2].

#### Venturiho trubice

Je založena na platnosti tzv. Venturiho efektu, tedy na skutečnosti, že tlak proudící tekutiny je nepřímo úměrný rychlosti proudění této tekutiny. Tlak ve zuženém místě trubice klesá, Obr. 6, [11].



Obr. 6 Princip Venturiho trubice, [11]

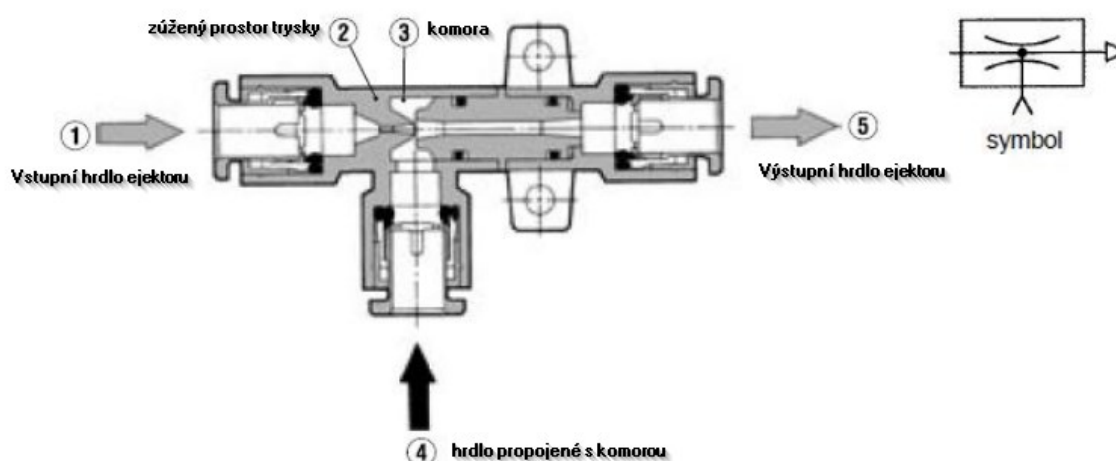


Obr. 7 Vizualizace Venturiho trubice, [12]

Níže uvádím nejčastější typy proudových ejektorů.

### Jednostupňový ejektor

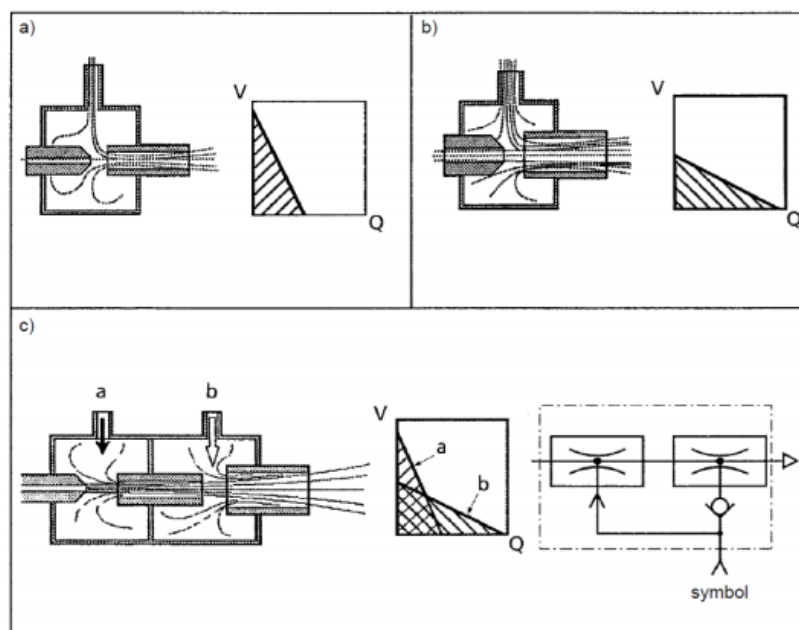
Princip činnosti jednostupňového ejektoru dle Obr. 8. Do vstupního hrdla ejektoru přivádíme stlačený vzduch. V místě zúžení trysky dojde k nárustu rychlosti proudícího vzduchu. Tento zrychlený proud na výstupu strhává částice vzduchu v prostoru uvnitř ejektoru a unáší je s sebou. Následkem je snížení tlaku v prostoru uvnitř ejektoru. Vzniká podtlak a následkem tohoto fyzikálního jevu dochází k přisávání vzduchu do komory pomocí hrdla. Přísátý vzduch, společně s proudem vzduchu z trysky, odchází hrdlem ejektoru, popřípadě zabudovaným tlumičem hluku, do atmosféry, [2].



Obr. 8 Jednostupňový ejektor, technická značka jednostupňového ejektoru, [2]

## Vícestupňový ejektor

Tento typ ejektoru je tvořen dvěma nebo více Venturiho trubicemi, které jsou řazené v sérii, tedy za sebou a každá z nich má v celém systému svůj specifický význam a funkci, Obr. 9, [2].



Obr. 9 Uspořádání ejektorů pro více stupňů, [2]

Ejektor uspořádaný dle Obr. 9a dokáže vyvinout vysokou hodnotu podtlaku. Avšak dokáže nasát pouze malý objem vzduchu. Ejektor uspořádaný dle Obr. 9b dokáže naopak nasát velké množství vzduchu, ale vyvine pouze velmi malé vakuum. Dvoustupňový ejektor Obr. 9 c je výsledkem spojení a využití vlastností obou předchozích uspořádání. Díky tomuto spojení dokáže ejektor nasát až o 40% více vzduchu. U třístupňového ejektoru lze dosáhnout zvýšení až o 250%. V tomto případě se přísavka dokáže velice snadno, rychle a pevně přichytit k požadovanému předmětu či k podložce, [2].

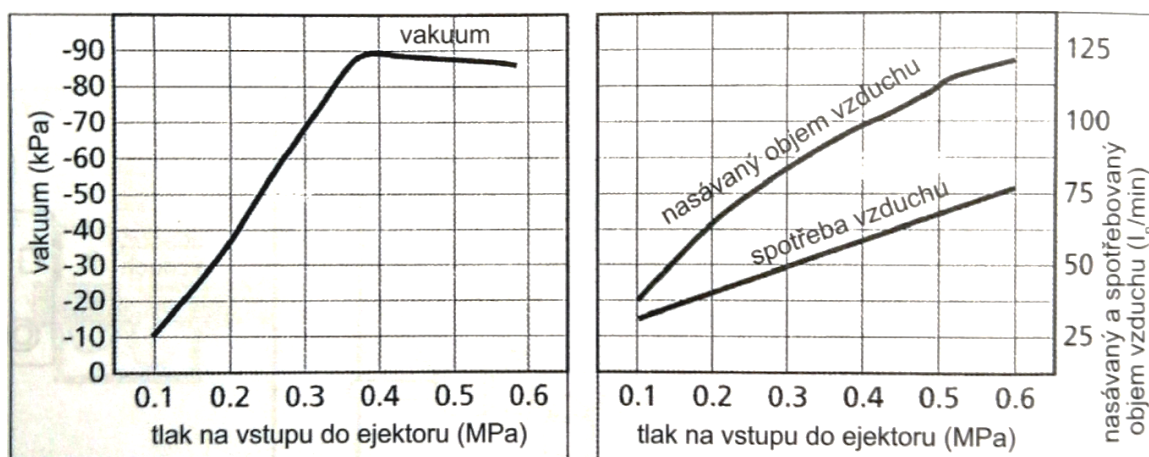
Vzduch, vycházející z ejektorů lze svádět do společného potrubí (hadice) nebo ho lze přímo odvádět do atmosféry. Přitom se je nutné vyvarovat vzniku protitlaku na výfuku vzduchu z ejektoru. Tento protitlak je zapříčiněn odporem potrubí (hadice) a má vliv na snížení hodnoty dosažitelného vakua a na objem nasávaného vzduchu. Tomuto problému lze předejít zvolením dostatečně velkého průřezu. Tímto zajistíme, že tlumiče hluku budou schopny propustit dostatečný objem vzduchu vyfukovaného ejektory, [2].

### 3.3 Srovnání ejektorů a mechanických vývěv

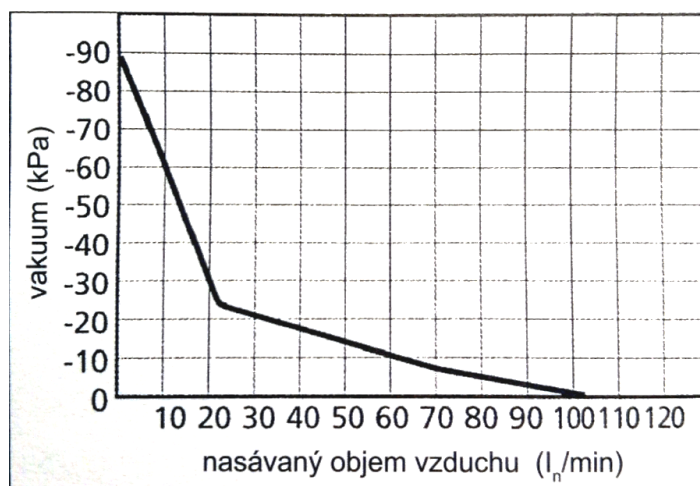
Nespornou výhodou proudových ejektorů je jejich spolehlivost. Mají totiž velice nízké požadavky na údržbu. Důvodem je fakt, že pracují bez opotřebení. Další výhodou je jednoduchá montáž a jejich kompaktní rozměry, které jsou podpořeny velice nízkou hmotností. Pozitivní je také jejich relativně nízká pořizovací cena. Velkou výhodou je také výrazná úspora energie, která se spotřebovává pouze při činnosti zařízení. Proudové ejektory lze využít ve výbušném prostředí, ale je nutné provést uzemnění jednotlivých prvků, [2], [3].

### 3.4 Základní fyzikální parametry

Mezi hlavní parametry ejektorů a vývěv řadíme dosažitelné vakuum, tlak vzduchu v trysce a objem nasávaného vzduchu. Závislosti mezi jednotlivými veličinami jsou vyjádřeny pomocí následujících diagramů, Obr. 10, Obr. 11, [2].



Obr. 10 Typické charakteristiky parametrů vícestupňového ejektoru s průměrem trysky  $d = 1,2 \text{ mm}$ , [2]



Obr. 11 Typická charakteristika víceetapového ejektoru při stálem tlaku vzduchu  
 $p = 0,4 \text{ MPa}$ , [2]

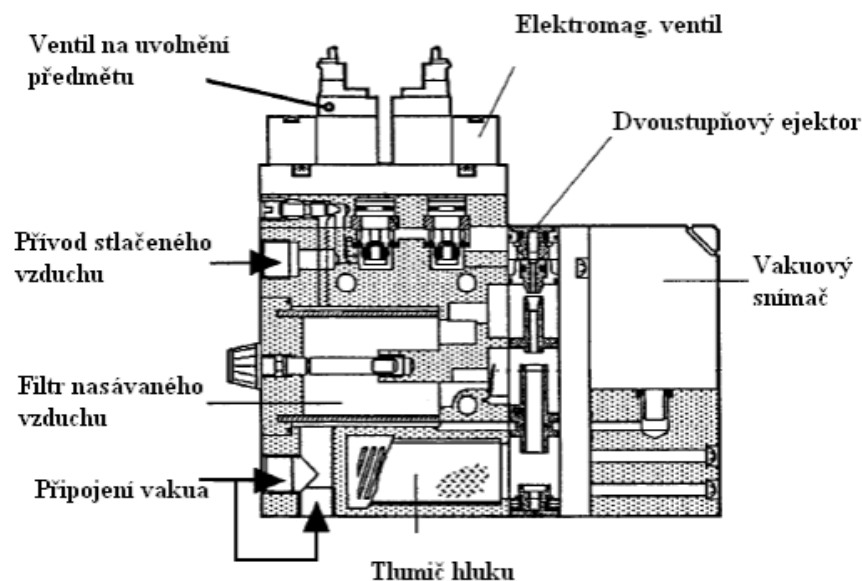
Hodnotu dosažitelného vakua lze ovládat pomocí přivedeného tlaku vzduchu do trysky ejektoru, kdy při překročení hodnoty  $0,6 \text{ MPa}$  dojde k odtržení vzduchového proudu. Toto přeruší činnost ejektoru, který přestane nasávat vzduch a přeruší tvorbu vakua, [2].

### 3.5 Funkční blok zdroje vakua

Samotné ejektory mají vysokou spotřebu stlačeného vzduchu, tedy energie. V případě, že je stlačený vzduch přiváděný do trysky ejektoru pouze při činnosti, je možné udržet průměrnou spotřebu energie ejektoru na nižší hodnotě, než je spotřeba kontinuálně pracující mechanické vývěvy, [2].

Tohoto lze dosáhnout složením jednotlivých modulů do tzv. funkčních bloků, Obr. 12, [2].

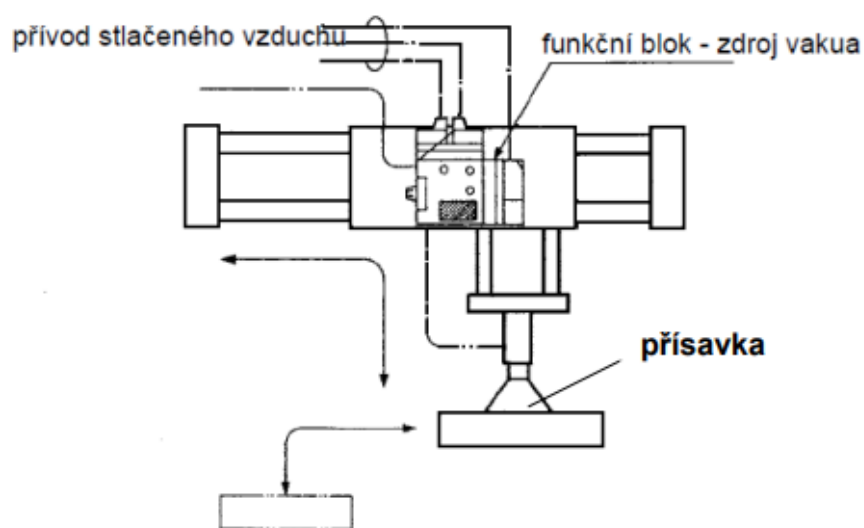




Obr. 12 Funkční blok zdroje vakua s vestavěným spínačem vakua, [2].

## Použití

Funkční bloky se používají jako zdroj vakua. Díky jejich malým rozměrům a nízké hmotnosti jsou vhodné k montáži, co nejblíže k místu aplikace, tedy k přísavce, Obr. 13. Umístěním funkčního bloku do blízkosti přísavky je zajištěna rychlá reakce pro přísání i uvolnění předmětu, [2].



Obr. 13 Funkční blok zdroje vakua s vestavěným spínačem vakua, [2]

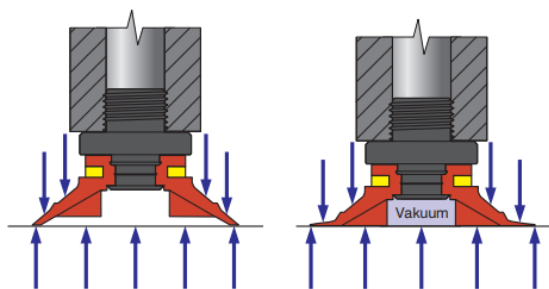
## 4. Přísavky

Jsou požívány jako jednoduché, spolehlivé a především bezpečné řešení pro manipulaci s hmotnými předměty. Jsou dostupné v několika různých provedeních lišících se svým tvarem, rozměrem a materiálem ze kterého jsou vyrobeny, [2].

### Princip činnosti

Přísavka není na manipulovaný předmět přisátá, nýbrž je na předmět přitlačována působením okolního atmosférického tlaku. Tento jev nastane pouze v případě, kdy je okolní tlak vyšší, než tlak na rozhraní mezi přísavkou a manipulovaným předmětem, Obr. 14. Pro dosažení tohoto stavu, musí být přísavka připojena na zdroj podtlaku, [5].

S rostoucí hodnotou podtlaku roste i přídržná schopnost přísavky, tedy síla, která přitlačuje přísavku k manipulovanému předmětu. Při příliš vysoké hladině vakua dochází k výraznému opotřebení povrchu přísavky, a přispívá ke zvýšení energetických ztrát. Přídržná síla se dá regulovat změnou plochy přísavky, kdy síla roste přímo úměrně se zvětšující se plochou přísavky. U některých aplikací je, namísto zvětšování rozměrů plochy přísavky, vhodné zvážit přidání většího počtu přísavek, aby bylo zajištěno zachování potřebné přídržné síly, Obr. 15, [5].



Obr. 14 Zjednodušené schéma principu funkce přísavek, [5]



Obr. 15 Příklad konkrétní realizace přísavek, [5]

### Přídržné síly přísavek

Standardně rozlišujeme přídržné síly na kolmé a tangenciální (rovnoběžné) k povrchu manipulovaného předmětu, Obr. 16, Obr. 17. Tyto síly se liší v závislosti na úrovni

pracovního vakua. Do výpočtové části návrhu vakuvých mechanismů s využitím přísavek, je nezbytné použít bezpečnostní koeficient, [5].

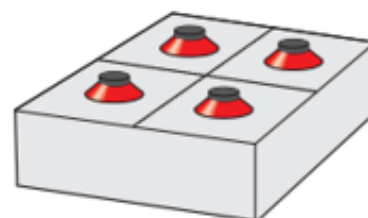
Při použití většího množství přísavek, je nutné umístit přísavky symetricky vzhledem k působišti výsledné tíhové síly (k těžišti) manipulovaného předmětu, Obr. 18, [5].



Obr. 16 Přídržná síla orientována v kolmém směru, [5]



Obr. 17 Přídržná síla orientována v tangenciálním (rovnoběžném) směru, [5]



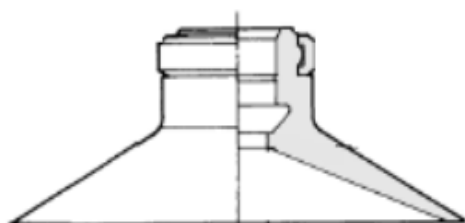
Obr. 18 Symetrické umístění přísavek vzhledem k těžišti manipulovaného předmětu, [5]

#### 4.1 Rozdělení přísavek

Standardně přísavky rozdělujeme dle tvaru na následující typy, [2].

##### Klasická plochá přísavka

Tento typ přísavek je určen pro manipulaci s rozměrnými a těžkými předměty z celistvého, pevného materiálu, s hladkým a rovinným povrchem, Obr. 19, Obr. 20, [2], [5].



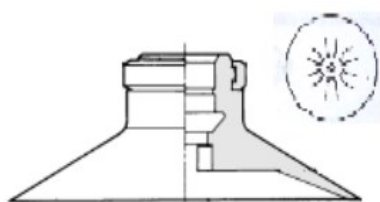
Obr. 19 Řez plochou přísavkou, [2]



Obr. 20 Klasická plochá přísavka, [5]

## Plochá přísavka s opěrnými žebry

Aplikace opěrných žeber zajišťuje eliminaci prohnutí a deformace měně tuhých materiálů, Obr. 21. Používají se pro šetrnou manipulaci s lehce deformovatelnými předměty, jako je například papír či fólie. Standardně jsou vyráběny v kruhovém provedení, Obr. 22. Oblíbenou a v praxi často užívanou variantou je oválný tvar přísavky, Obr. 23. Pro aplikaci oválných přísavek je vhodné kombinovat je s přidržujícími silami působícími ve směru tangeenciálně k ploše manipulovaného předmětu, [2], [5].



Obr. 21 Řez plochou  
přísavkou s opěrnými žebry,  
[2]



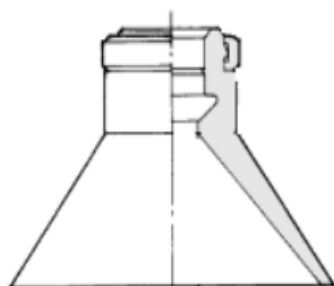
Obr. 22 Plochá kruhová  
přísavka opěrnými  
žebry, [5]



Obr. 23 Oválná plochá  
přísavka s opěrnými žebry,  
[5]

## Hluboká přísavka

Vhodné pro manipulaci s předměty se zaoblenými, zakřivenými, či jiným způsobem nepravidelnými plochami, hranami nebo rohy. Nejsou vhodné pro manipulaci s rovnými povrchy, Obr. 24, Obr. 25, [2], [5].



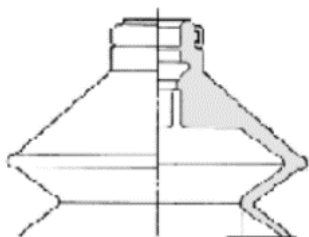
Obr. 24 Řez hlubokou přísavkou, [2]



Obr. 25 Hluboké přísavky, [5]

### Přísavky s měchem (s vlnovcem)

Dokáží se přizpůsobit drobným nerovnostem nebo výškovým rozdílům plochy manipulovaného předmětu Obr. 26, Obr. 27. Měch (vlnovec) má při dosednutí na manipulovaný předmět tlumící účinek. Další nespornou výhodou je jejich měkký a pružný okraj, který zvyšuje spolehlivost uchopení předmětu, Obr. 28. Vhodné pro aplikace s působením kolmých či tangenciálních sil, [2], [5].



Obr. 26 Řez přísavkou s měchem, [2]



Obr. 27 Konkrétní realizace přísavky s měchem (hluboká varianta), [5]



Obr. 28 Konkrétní realizace přísavky s měchem, [5]

## 4.2 Materiál přísavky

Hlavní materiálovou složkou přísavky je kaučuk, který tvoří pryž, neboli gumu. Kaučuk je elastomer charakteristický svou pružností. Dokáže velice flexibilně reagovat na vnější silové působení, které vstřebává formou deformace svého povrchu. Avšak dokáže se velice snadno vrátit do původního stavu, [14], [15].

Za zmínění stojí také polyuretan. Tento materiál je kombinace několika velice užitečných vlastností. Je velice pružný, pevný, odolný vůči otěrům a natržení. Všechny tyto vlastnosti společně dělají z polyuretanu velice kvalitní materiálovou přísavku pro výrobu přísavky, [14], [15].

Na Obr. 29 uvádím přehled používaných materiálů pro výrobu přísavky od firmy FESTO.

Materiál přísavek	Barva	Teplotní rozsah [°C]	Odolnost proti opotřebení	Výrobek
Nitrilový kaučuk (N)	Černá	-10...+70	++	Naolejované a hladké
Polyuretan (U)	Modrá	-20...+60	+++	Naolejované, hladké a drsné
Silikon (S)	Bílá, průhledná	-30...+180	+	Potraviny, horké a studené
Fluórový kaučuk (F)	Šedá	-10...+200	+	Naolejované, hladké a horké
Nitrilový kaučuk, antistatický (NA)	Černá s bílou tečkou	-10...+70	++	Elektronika, zaolejovaná
Polyuretan, teplotně odolný (T)	Hnědá průhledná	-20...+60	+++	Naolejované a drsné

Obr. 29 Přehled materiálů přísavek od firmy FESTO, s.r.o., [9]

### 4.3 Použití přísavek

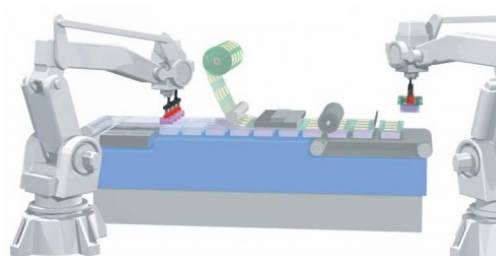
Aplikace přísavek nabízí velice snadné, dostupné, bezpečné a spolehlivé řešení pro manipulaci s různě rozměrově i prostorově koncipovanými předměty. Také najdou velké uplatnění při snaze o zautomatizování výroby. Konkrétně se dají použít například pro pro zvedání a manipulaci s těžkými a křehkými tabulovými skly Obr. 30, pro umísťování etiket na výrobky, balení hotových výrobků Obr. 32, montování miniaturních součástek do větších celků, přidržování dílů při obrábění, při paletizaci Obr. 31 apod, [3], [5], [6].



Obr. 30 Manipulace s tabulovým sklem, [6]



Obr. 31 Paletizace, [6]



Obr. 32 Balení výrobků, [6]

#### 4.4 Způsoby připojení přísavek

Různé provedení i velikosti přísavek vyžadují specifické druhy připojení, abychom je byli schopni zakomponovat do funkčních obvodů. Tyto připojení jsou nejčastěji vyrobeny z kompozitních plastů či z hliníku. Velká část přípojů je již opatřena nerezovými síty, které zabráňují nečistotám vniknout do vakuového obvodu. Standardně jsou přísavky konstruovány pro přímé připojení našroubováním k vývěvě či ejektoru a nebo spojením přes hadici, [4], [5], [6].

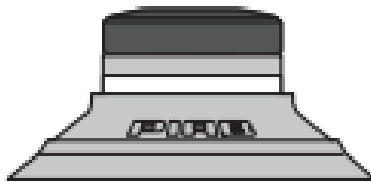
Pro dosažení lepšího přísávacího efektu, jsou některé konstrukce přísavek opatřeny uzavíracím dotykovým ventilem či zpětným škrťacím ventilem. Níže zmiňuji konkrétní typy nejčastěji používaných přípojů, [4], [5], [6].

##### Připojení závitem

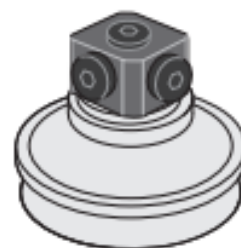
Nejčastěji užívaný a nejjednodušší způsob napojení přísavek. Na trhu lze vybírat z velice širokého sortimentu různých druhů závitů Obr. 33, Obr. 34, Obr. 35, které se liší dle typu a rozměrů přísavek, [5], [6].



Obr. 33 Vnější závit  
přísavky, [5]



Obr. 34 Vnitřní závit přísavky,  
[5]



Obr. 35 “Multi-port“  
s 5x vnitřním závitem,  
[5]

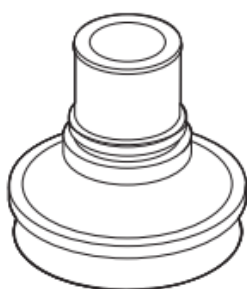
##### Přísavky s hrdlem

Jde jednoznačně o nejjednodušší způsob montáže přísavek, kdy stačí pouze hrdlo přísavky nasunout na potrubí přívodu vakua, Obr. 36. Toto spojení lze zajistit použitím hadicové spony, [5].

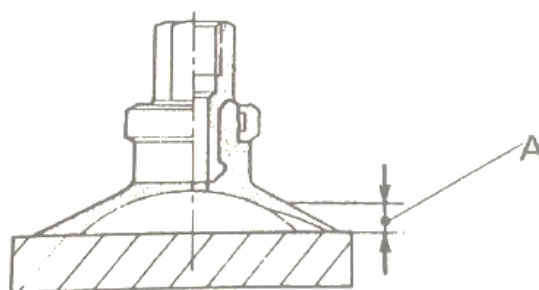
## Pevný držák

Jedná se o nejlevnější způsob upevnění přísavky, Obr. 37. Přísavka je pevně nainstalována v držáku, což zajišťuje možnost uchopit manipulovaný předmět v přesně určené poloze a poté jej také v přesně určené poloze uvolnit, [2].

U této aplikace je nutné zabránit nadměrné deformaci těsnicí hrany. Tomuto stavu lze zabránit správným dolehnutím přísavky na povrch manipulovaného předmětu. Obě kontaktní plochy by se měly lehce dotýkat. Nadměrná deformace se negativním způsobem promítne do životnosti přísavky, [2].



Obr. 36 Přísavka s hrdlem, [5]

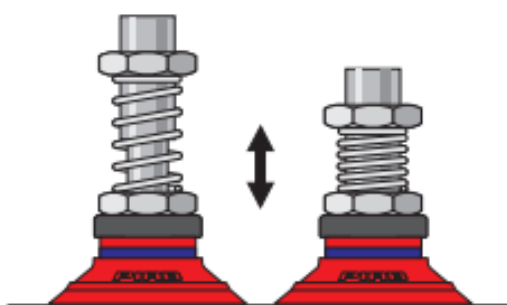


Obr. 37 Přísavka s pevným držákem, [2]

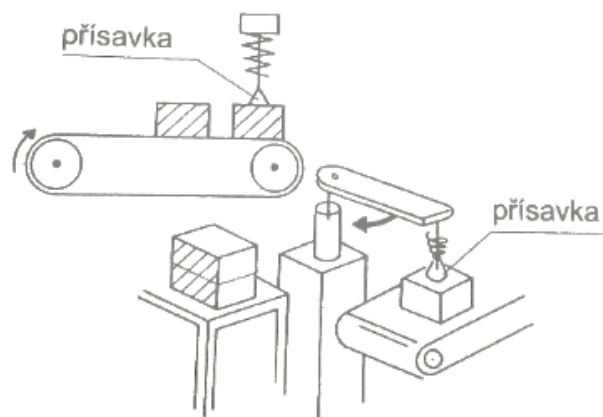
## Odpružený držák

Tento způsob upevnění přísavky napomáhá k vyrovnání výškových rozdílů plochy na předmětu, se kterým je manipulováno, Obr. 38. Aplikací odpruženého držáku lze vyrovnat sílu přitlačení přísavky na povrch, a tím snížit opotřebení, což povede k prodloužení její životnosti, Obr. 39. Tyto držáky jsou dodávány v provedení s možností zajištění proti pootočení, což zaručí přesnou polohu manipulovaného předmětu, jak při jeho uchopení, tak při následném uvolnění, [2], [6].





Obr. 38, Pružné vyrovnávací upevnění, [6]



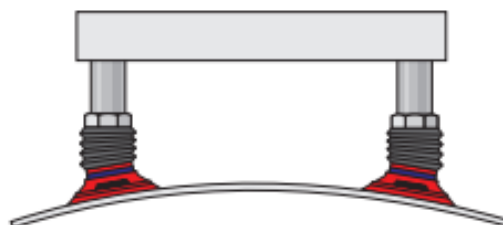
Obr. 39 Aplikace přísavky s odpruženým držákem, [2]

### Výkyvné upevnění

Tento člen pro upevnění snižuje ohybová napětí, které vznikají při manipulaci Obr. 40. Dokáže přizpůsobit polohu přísavky různým úhlům na povrchu předmětu, Obr. 41, [1], [6].



Obr. 40 Člen pro výkyvné upevnění, [6]



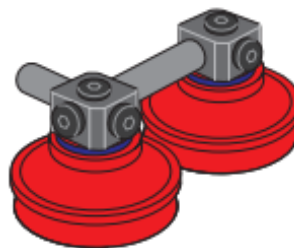
Obr. 41 Příklad výkyvného upevnění, [4]

### Úhlové upevnění

Slouží k usnadnění realizace a montáže přívodu vakua do míst se špatnou dostupností Obr. 42. Tento člen se také používá jako připojení pro rozvod vakua k dalším prvkům vakuového systému, Obr. 43, [1], [6].



Obr. 42 Člen pro úhlové upevnění, [6]



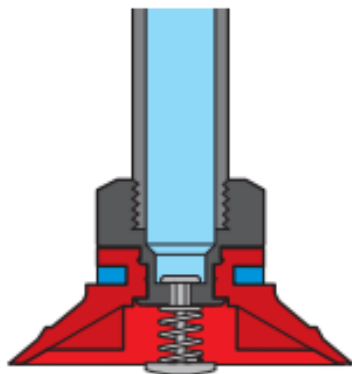
Obr. 43 Příklad úhlového upevnění, [4]

#### 4.5 Ventily v přípojkách

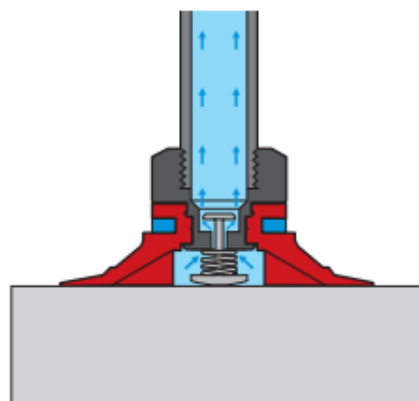
Ventily jsou standardně vestavěné či integrované v přípojkách, [6].

##### Dotykový ventil

Slouží k otevření přívodu vakua, Obr. 44, Obr. 45. Při úplném dosednutí přísavky na manipulovaný předmět dojde k otevření přívodu vakua. Jsou vhodné pro manipulaci, jak s prodyšnými, tak také s neprodyšnými materiály, [6].



Obr. 44 Uzavřený dotykový ventil – bez kontaktu s manipulovaným předmětem, [6]

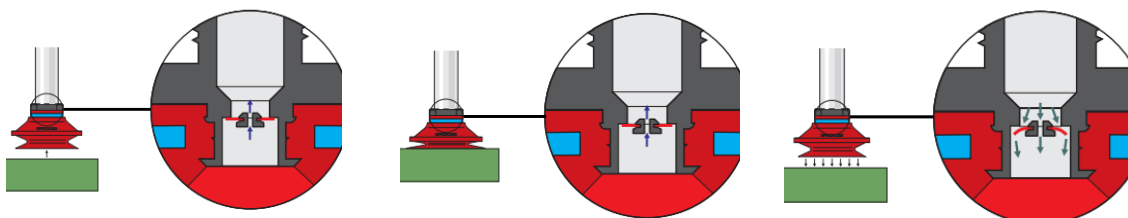


Obr. 45 Otevřený dotykový ventil – po dosednutí přísavky na manipulovaný předmět, [6]

## Zpětný škrťací ventil

Slouží k minimalizaci úniku vakua v situacích, kdy přísavka není úplně dosednuta na plochu manipulovaného předmětu. Vhodné pouze pro manipulaci s neprodyšnými materiály, [6].

V případě, že přísavka nedoléhá na manipulovaný předmět, Obr. 46, pak nasávaný vzduch proudí přes malý otvor škrťacího ventilu, což zajistí minimalizaci úniku vakua ze systému. Po dolehnutí přísavky na manipulovaný předmět, Obr. 47, je nutné pouze odsát vlastní objem přísavky. Při ukončení tohoto pracovní cyklu, Obr. 48, dojde k zavzdušnění přísavky otevřením zpětného ventilu. Následně je předmět rychle uvolněn, [6].



Obr. 46 Poloha neobsazená  
přísavka, [6]

Obr. 47 Poloha dosednutí  
přísavky, [6]

Obr. 48 Poloha ukončení  
pracovního cyklu, [6]

## 4.6 Zásady pro výběr přísavky

Při návrhu vakuového systému s přísavkami je nutné přihlédnout k níže uvedeným provozním podmínkám a k parametrům přísavek, Obr. 49,[6].

Provozní podmínky	Parametry přísavek
Tvar a povrch manipulovaného předmětu	Typ, počet a materiál přísavek
Manipulace s předmětem v horizontální poloze	Přidrzná síla kolmá k ploše
Manipulace s předmětem ve vertikální poloze	Přidrzná síla paralelní s plochou
Působení dynamických sil	Počet přísavek
Požadavek na vysokou třecí sílu	Materiál přísavky, opěrná žebra
Požadavek na dlouhou životnost	Materiál přísavky
Teplotní odolnost	Materiál přísavky
Požadavek na bezotiskovost	Materiál přísavky
Tenké materiály s rizikem deformace	Opěrná žebra nebo vložky v přísavce
Montáž přísavky na zařízení	Typ přípoje přísavky
Možnost nasátí nečistot	Filtr v přípoji nebo v přísavce
Některé přísavky neobsazené předmětem	Ventil v přípoji přísavky

Obr. 49 Přehled: Provozní podmínky – Parametry přísavek, [6]

## 5. Přehled konfigurátorů vakuové techniky

### 5.1 Konfigurator SMC

#### Vacuum Adsorption Transfer System Selection

Tento software nabízí jednoduché a uživatelsky velice přátelské rozhraní pro konfiguraci obvodu, Obr. 50. Lze například zvolit typ ejektoru, druh a materiál použitých hadic apod. Všechny zvolené či volitelné prvky jsou součástí katalogu produktů, který společnost SMC nabízí.

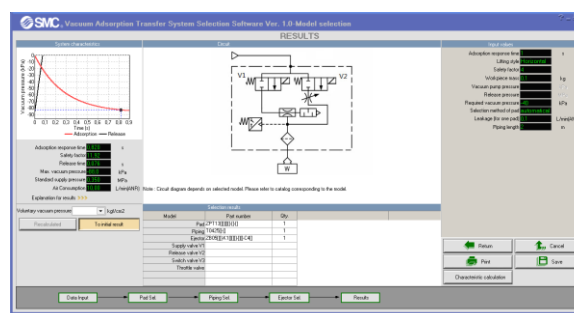
Do konfiguračního software lze poměrně omezeně nadefinovat parametry manipulovaného předmětu. Nelze zadat přesné rozměry či umístění a orientaci předmětu v prostoru. Lze zadat pouze jeho hmotnost, což mě jako uživatele poměrně velkým způsobem omezuje. Tento fakt mi dává jasně najevo, že konečné výsledky, z tohoto konfiguratoru, lze brát opravdu pouze jako orientační.

Na druhou stranu SMC nabízí kvalitní zpracování volby jednotlivých prvků obvodu počínaje přísavkou, ejektorem, vedením obvodu apod. Dále lze nadefinovat například požadovanou dobu odezvy systému, požadovanou hodnotu vakua, bezpečnostní faktor apod.

Výstupem z konfiguratoru je vizualizace obvodu, přehled vstupních i výstupních hodnot, přehled zvolených prvků a jejich funkce v obvodu, Obr. 51.



Obr. 50 Náhled na rozhraní software pro konfiguraci vakuových obvodů od firmy SMC, [21]



Obr. 51 Přehledný výstup určených hodnot, [21]

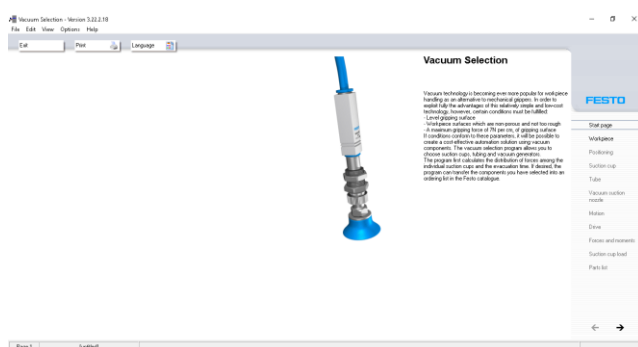
## 5.2 Konfiguratör FESTO

### Vacuum component selection

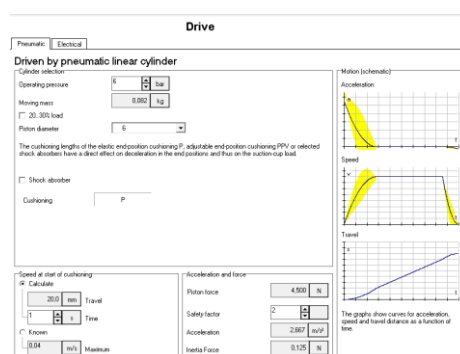
Zatímco software od společnosti SMC nabízí pouze velice omezené možnosti pro nadefinování parametrů manipulovaného předmětu, software od společnosti FESTO naopak možnostmi doslova „přetéká“. Pomocí tohoto software lze velice přesně nadefinovat řešenou situaci, ať jde o parametry manipulovaného předmětu, přesnou pozici přísavek či způsob a rychlost zvedání. V nabídce tohoto software si minimálně každý běžný uživatel přijde na své, Obr. 52.

Výstupem z konfiguratoru je opět vizualizace obvodu, přehled vstupních i výstupních hodnot, přehled zvolených prvků a jejich funkce v obvodu, Obr. 53. Navíc je možné provést vizuální simulaci funkce námi nadefinovaného obvodu, což je velice příjemný bonus pro každého, kdo chce problematice vakuové techniky lépe porozumět z praktické stránky. Velice užitečné je přímé propojení konfiguratoru s online katalogem, kdy se ihned po nadefinování obvodu se všemi prvky, můžete jedním kliknutím přenést do online rozhraní pro jejich okamžité objednání.

Závěrem je fakt, že software od FESTO je daleko propracovanější a praktičtější, než velice jednoduchým způsobem zpracovaný software od SMC. Troufnu si tvrdit, že Software od FESTO využijí jak běžní uživatelé a nadšenci, tak profesionálové řešící problémy týkající se vakuové techniky v praxi.



Obr. 52 Náhled na rozhraní software pro konfiguraci vakuových obvodů od firmy FESTO, [20]



Obr. 53 Část přehledného výstupu určených hodnot v konfiguratoru FESTO, [20]

### 5.3 Konfiguratör AVENTICS

Tento software nabízí také poměrně omezený způsob zadávání vstupních parametrů, jako jsem viděl u konfiguratöru od společnosti SMC. Při testování konfiguratöru jsem se narozdíl od předchozích dvou konfiguratöru pohyboval ve webovém rozhraní, nikoliv v aplikaci, která by byla volně dostupná na internetu, Obr. 54. To mě ovšem zásadním způsobem neomezilo. Pouze je potřeba věnovat více času hledáním správného prohlížeče, jelikož všechny nejsou zcela kompatibilní s tímto webovým rozhraním.

Samotný software je tedy opravdu velice jednoduchý a nenabízí možnosti pro dostatečné nadefinování řešené situace, stejně jako konfiguratör od SMC. Nedostatky v oblasti konfigurace software kompenzuje svým jednoduchým intuitivním prostředím a jednoduchostí.

Výstupem z konfiguratöru je vizualizace obvodu a jeho vypočtených parametrů, které se dají jednoduše převést do formátu pdf a poté stáhnout, či rovnou tisknout, Obr. 55.

Vacuum calculation program ver 1.1, Suction cup 4/23/19 7:00 PM  
Program information  
Field for customer notes

Notes

Workpiece:

Mass (kg) 0.5  
Material Metal dry  
Temperature (°C) -10 to 70  
Surface form Curved  
Radius (mm) 1000

Application:

System Vacuum (bar) 1  
Motion Horizontal  
Orientation downwards  
Deceleration (m/s²) 50  
Friction coefficient 0.5  
Number of suction cups 2  
Safety factor 2

Suction cup:

Color FSD  
Material Vacuum  
Thread External thread  
Pre-choice None  
Compute New case

Obr. 54 Náhled na rozhraní software pro konfiguraci vakuových obvodů od společnosti AVENTICS, [22]

Vacuum calculation program ver 1.1, Suction cup  
Tue Apr 23 19:05:07 CEST 2019  
Field for customer notes  
BLABLA

Workpiece:

Mass (kg) 1  
Material Metal dry  
Temperature (°C) -10 to 70  
Surface form Curved  
Radius (mm) 1000

Application:

System Vacuum (bar) 1  
Motion Horizontal  
Deceleration (m/s²) 50  
Friction coefficient 0.5  
Number of suction cups 2  
Safety factor 2

Suction cup:

Color FSD  
Material Vacuum  
Thread External thread  
Pre-choice None

The program result may be seen as a recommendation for choice of components. AVENTICS may not be held liable for any damage resulting from the use of this program.

Dimensioning data	Value	Unit	Output data (suction cup)
Required suction force (suction cup)	164.7	18470.0	
Radius (mm) (P10-0-0-0-0)	1000	0.5	
Radius (mm)			

Dimensioning data:

Name: B5511  
Part number: B5A  
Dimension (mm): 11.0  
Thread: G1/8

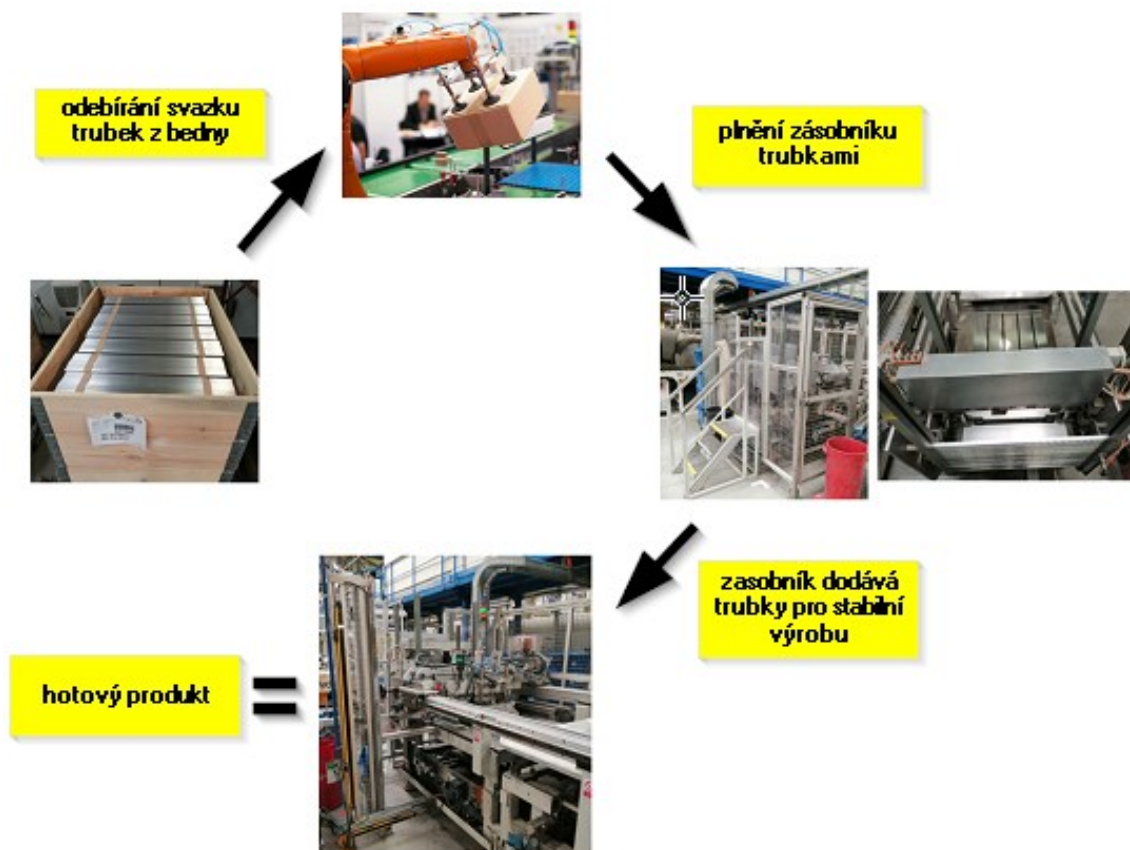
Obr. 55 Přehledný výstup určených hodnot z konfiguratöru AVENTICS, [22]

## 6. Praktický příklad

Rozhodl jsem se pro realizaci návrhu vakuového mechanismu s využitím přísavek. Konkrétně se bude jednat o manipulaci se svazkem hliníkových trubek ve výrobě automobilového průmyslu, Obr. 56. Tento mechanismus bude součástí pohyblivého ramena kolaborativního robota, který bude do výroby umístěn za účelem doplňování hliníkových trubek do podavače v kazetovacím zařízení, které slouží k výrobě komponentů vzducho-techniky do osobních automobilů. V současné době provádí doplňování trubek proškolený operátor. Aplikace kolaborativního robota zefektivní způsob doplňování trubek a ušetří pracovní sílu v podobě proškoleného operátora. Tímto krokem dojde k optimalizaci výrobního procesu, což povede ke zvýšení produktivity, tedy k financí i časové úspoře.

Kromě aplikace vakuových přísavek by také bylo možné použít například mechanickou úchopnou hlavici zakončenou rukojetí, chapadly či jiným mechanickým přípravkem pro uchycení manipulovaného předmětu. Avšak aplikace vakuových přísavek se mi jeví jako poměrně efektivní, komplexní, velice spolehlivé a zároveň velice dostupné a praktické řešení.

Předmětem této práce je pouze návrh vakuového mechanismu pro uchopení a vyzvednutí zadaného manipulovaného předmětu, nikoliv kompletní návrh kolaborativního robota. Praktická část obsahuje popis řešeného problému, vizuální seznámení s jednotlivými přístroji, komponenty či prvky, které jsou součástí řešení. Dále obsahuje experimentální ověření v laboratoři, výpočtovou část, aplikaci dostupných konfiguratorů vakuové techniky a porovnání dosažených výsledků všech užitých metod.



Obr. 56 Schéma výrobního procesu

### Manipulovaný předmět

Manipulovaným předmětem jsou hliníkové ploché trubky, Obr. 57. Tyto trubky jsou součástí chladících komponentů pro osobní automobily. Trubky jsou dodávány ve svazku s počtem kusů, který si každý zákazník nadefinuje dle svých potřeb. Ve své práci se budu věnovat návrhu pro svazek 55 kusů. Každý svazek je ve dvou místech opatřen lepenkovou páskou, která ho drží pohromadě. Takto svázané trubky jsou standardně dodávány v dodavatelských baleních, nejčastěji v dřevěných krabicích, Obr. 58. Požadavky na parametry svazků, způsob jejich uložení v balení, typ a rozměry balení jsou volitelnými parametry a odvíjí se od specifických požadavků každého zákazníka.





Obr. 57 Svazek 55 hliníkových trubek



Obr. 58 Standardní  
balení svazků  
hliníkových trubek od  
dodavatele

### Parametry manipulovaného předmětu

Níže uvádím parametry celého svazku 55 hliníkových trubek, Tab. 1.

Tab. 1 Parametry svazku trubek

parametr	hodnota	jednotka
hmotnost	679,8	g
délka	360	mm
šířka	16	mm
výška	100	mm
materiál	hliník	-

### Kolaborativní robot

Druh automatizovaného robota, který je určen do prostředí pro přímý kontakt s fyzickými subjekty, Obr. 59, Obr. 60. Konstrukčně je řešen bezbariérově, tedy bez ohraničení, či jiných bezpečnostních prvků, izolujících robota od vnějšího prostředí.

## Úchopový mechanismus

Mechanismus je založen na principu činnosti vakuových přísavek. Je aplikován jako součást kolaborativního robota, Obr. 59, Obr. 60.



Obr. 59, Obr. 60 Kolaborativní robot s přísavkovým mechanismem, (ilustrační obrázky),  
[16], [17]

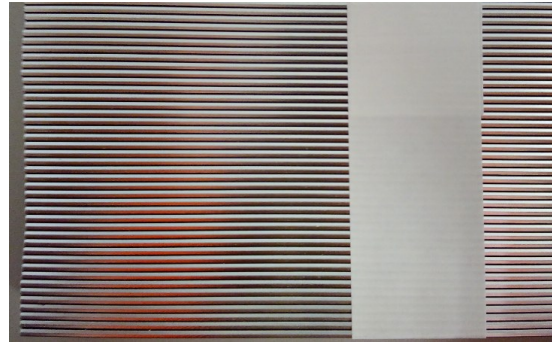
## Rozbor problému

Výchozí způsob balení trubek dodávaný dodavatelem lze vidět na Obr. 61. Jde o způsob balení, kdy celý svazek leží vodorovně na své obsahově největší ploše, dále pouze vodorovná poloha svazku.

U tohoto způsobu balení vidím riziko v mezerách/přechodech mezi jednotlivými trubkami ve svazku Obr. 62. Dle mého názoru by mohlo dojít k profukování, což povede ke snížení úchopové síly. Ve výsledku by mohla nastat situace, kdy nebude vakuový mechanismus schopen svazek trubek udržet, ba dokoce ani uzvednout.



Obr. 61 Výchozí způsob balení hliníkových trubek



Obr. 62 Mezery/přechody mezi jednotlivými trubkami ve svazku

Vhodnější alternativou k tomuto řešení by byla změna dodavatelského balení trubek. Pro náš případ se mi jeví jako ideální možnost, postavit trubky v balení na plochu jedné trubky, dále pouze svislá poloha svazku, jak lze vidět na Obr. 63, Obr. 64.



Obr. 63 Způsob alternativního balení hliníkových trubek, tzv. svislá poloha svazku



Obr. 64 Pohled shora na alternativní způsob balení hliníkových trubek

Tato změna ovšem povede k vysokým investicím, jelikož se poměrně zásadním způsobem promítne do výrobního procesu na straně dodavatele. Tyto změny hradí objednavatel, tedy zákazník, což je v tomto případě naše strana.

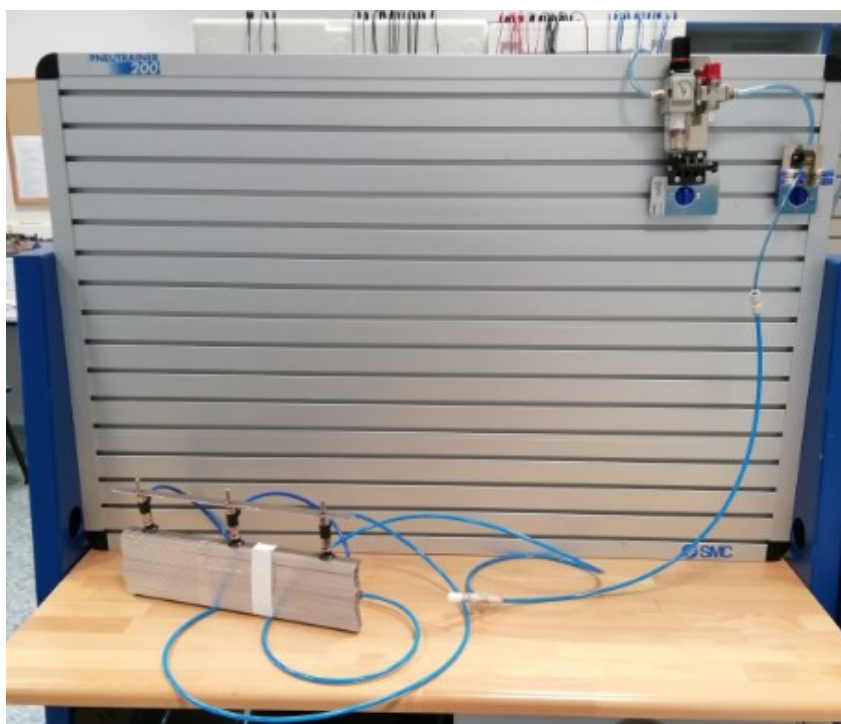
Z tohoto pohledu je tato varianta poměrně nevhodná. Bylo by ale nutné provést důkladné nacenění a vyhodnocení situace, abychom mohli udělat smysluplný závěr.

V případě, že ani jedna z výše uvedeých variant nebude z nějakého důvodu akceptovatelná, pak by bylo nutné přijít s alternativním řešením. Zde by se nabízela možnost aplikace mechanické úchopné hlavice s rukojetí či s chapadly.

## 7. Experimentální ověření v laboratoři

Před zahájením výpočtové části zaměřené na hlubší zkoumání mého praktického příkladu, jsem se rozhodl provést praktickou zkoušku v laboratoři. Provedl jsem experiment, kdy jsem na jednoduchém standu tvořeném kompresorem, ejektorem a přípravkem s přísavkami ověřil, zda byly mé hypotézy, zmíněné v rozboru problému výše, reálné, Obr. 65.

Pro pokus byly použity 3 přísavky s průměrem funkční části 20 mm, Obr. 67. Tyto přísavky byly šroubovým spojením s matkou spojeny ve 3 místech s hliníkovou trubku, do které byly v daných místech navrtány průchozí díry, Obr. 66. Ejektor, vytvářel potřebné vakuum, které bylo hadicovým vedením distribuováno ke každé přísavce zvlášť pomocí odboček určených k větvení obvodu.



Obr. 65 Jednoduchý stand v laboratoři určený k experimentálnímu ověření výše uvedeých hypotéz



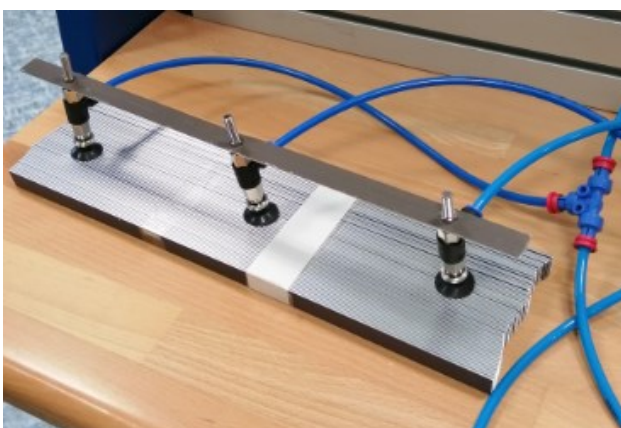


Obr. 66 Pohled na přípravek tvořený spojením jedné celistvé hliníkové trubky a třemi stejnými přísavkami

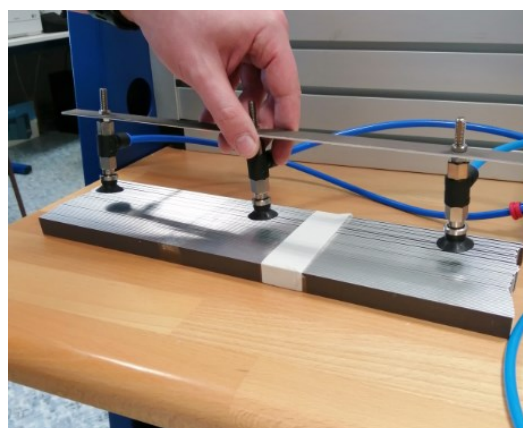


Obr. 67 Detail na část přípravku s přísavkou

V První části pokusu jsem se zabýval uzvednutím svazku trubek ve vodorovné poloze, což je aktuálně způsob, kterým trubky od dodavatele přijímáme, Obr. 68. Bohužel se první pokus nevydařil a trubky zůstaly ležet nehybně na podložce. Narozdíl od přípravku s přísavkami, který se více než dobrovolným způsobem, odlepil od svazku, Obr. 69. Potvrdila se tedy má hypotéza, že konečná přídržná síla nebude dost velká z důvodu profuků mezi jednotlivými trubkami ve svazku. Bylo nemožné najít pozici, ve které by byla alespoň jedna z přísavek plně přisáta k manipulovanému předmětu, natož aby se podařilo přisát všechny tři přísavky najednou a uzvednout svazek.

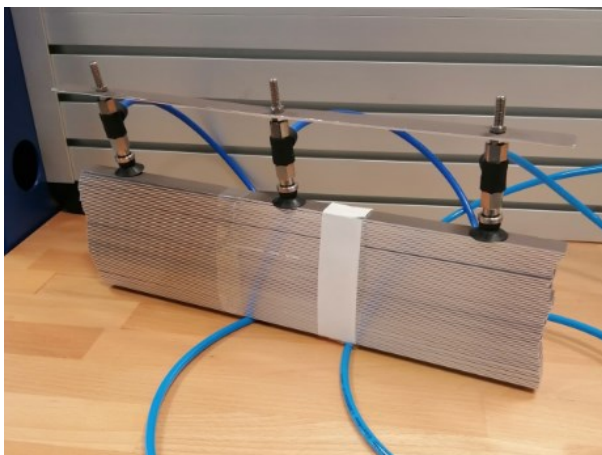


Obr. 68 Pokus o uzvednutí svazku trubek ve vodorovné poloze

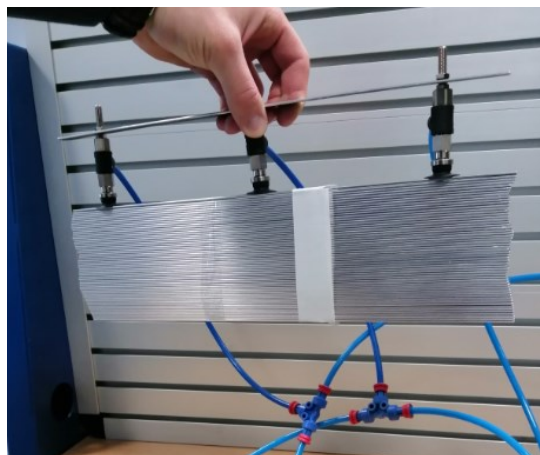


Obr. 69 Neúspěšný pokus o uzvednutí svazku trubek ve vodorovné poloze

Ve druhé části pokusu jsem se pokoušel uvednout svazek trubek ve svislé poloze, Obr. 70. Přísavky poměrně snadno přilnuly, větší částí své funkční plochy, k manipulovanému svazku, čímž vytvořily dostatečně silný podtlak pro jeho uzvednutí, Obr. 71. Avšak výsledek tohoto pokusu byl negativním způsobem zatížen rozdílem ploch jednotlivých přísavek a horní hliníkové trubky. Část plochy u každé z přísavek, jejichž průměr je 20 mm, vyčnívala přes okraje horní hliníkové trubky, která má šířku pouze 16 mm. Nejdelší přesah na obou stranách tedy dosahuje až 2 mm. Tento rozdíl ploch bude zohledněn ve výpočtové části.



Obr. 70 Pokus o uzvednutí svazku trubek ve svislé poloze



Obr. 71 Úspěšný pokus o uzvednutí svazku trubek ve svislé poloze

Závěrem laboratorního měření je fakt, že nebude možné uzvednout svazek trubek ve vodorovné poloze, jelikož dochází k profukům z důvodu mezer mezi jednotlivými trubkami ve svazku. Možná by pomohla aplikace větší přísavek, které by svou plochou zakryly celou část manipulované plochy, avšak na tento pokus nebyly v laboratoři potřebné pomůcky. Jisté ale je, že by tento způsob manipulace nebyl dostatečně efektivní, jelikož by stále docházelo k velkým ztrátám na mezerách mezi trubkami. Z tohoto důvodu tedy hodnotím tento způsob manipulace jako nevhodný a dále s ním v průběhu své práce nebudu počítat.

Manipulace se svazkem trubek ve svislé poloze byla úspěšná, a to i s méně vhodným vybavením. Při použití rozměrově vhodnějších – průměrem menších, přísavek, by bylo určitě dosaženo lepšího výsledku.

Pokud bychom se tedy rozhodli pro aplikaci vakuových mechanismů pro kolaborativního robota ve výrobě, museli bychom změnit dodavatelské balení, což je

poměrně složitý a finančně i časově náročný krok. Nestačilo by pouze rozhodnutí vedení naší společnosti, ale také by bylo nezbytné získat souhlas našeho dodavatele hliníkových trubek a především zákazníka, kterému dodáváme hotový výrobek, tedy chladicí komponent do osobního automobilu. Jakákoliv změna ve výrobním procesu velice nákladný a časově náročný krok. Bylo by tedy nutné provést důkladné prozkoumání všech dostupných možností a variant. Poté by byla vybrána ta nejvíce efektivní varianta přijatelná pro všechny zúčastněné strany. Jako možná alternativa k vakuovým mechanismům by byla, už výše párkrát zmiňována, aplikace mechanické úchopné hlavice.

Jelikož je předmětem mé práce řešení problematiky vakuvých mechanismů, budu dále ve své práci počítat s faktem, že jsme se rozhodli použít řešení s vakuovými přísavkami, kdy jsou svazky trubek v balení orientovány svisle. Výpočtová část návrhu obvodu s využitím vakua

## **8. Výpočtová část návrhu obvodu s využitím vakua**

V této části práce budu kombinovat jak teoretickou, tak praktickou, neboli výpočtovou stránku věci. Na úvod je nutné vzít v potaz fakt, že při aplikaci vakua lze pracovat pouze s omezeným rozsahem tlaku, a to do hodnoty 100 kPa. Při návrhu obvodu s využitím vakua je tedy velice důležité věnovat pozornost minimalizaci odporů na vedeních. Odporů vedení snížíme zvětšením světlosti, neboli průměru použitých hadic a trubek. Velice důležitá je také volba zdroje vakua, a to zejména v případě, kdy je pro manipulaci s daným předmětem použito několik přísavek, [2].

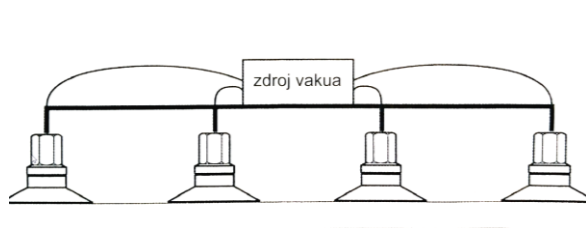
### **Volba zdroje vakua**

#### **Společný zdroj vakua**

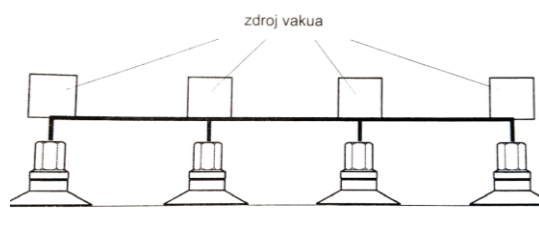
Spojení všech použitých přísavek do jednoho společného zdroje vakua zaručí nejlepší možné využití energie, Obr. 72. Tato aplikace není vhodná pro zařízení s rychle se opakujícími cykly, protože jeden společný zdroj zpříčiní prodoužení času pro dosažení žádané hodnoty vakua. Další nevýhodou tohoto zapojení je fakt, že se při netěsnosti jedné z použitých přísavek, nedosáhne potřebné hladiny vakua, což může vést k nemožnosti vyzvednout předmět, popřípadě by mohlo dojít k samovolnému uvolnění předmětu v průběhu manipulace. Použitím vestavěného zpětného ventilu je možné tuto nevýhodu odstranit. Druhým řešením je použití samostatných zdrojů vakua pro každou z použitých přísavek, [2].

## Samostatný zdroj vakua

V tomto způsobu zapojení má každá přísavka vlastní zdroj vakua, neboli ejektor, Obr. 73. Tyto ejektory mají společný přívod stlačeného vzduchu. Předností tohoto zapojení je především rychlost dosažení potřebné hladiny vakua a také minimální ztráty vakua. Toto zapojení dokáže zajistit dostatečně velkou sílu pro uchycení předmětu, a to i v případě, že je jedna z přísavek částečně netěsná, [2].



Obr. 72 Schéma společného zdroje vakua,  
[2]

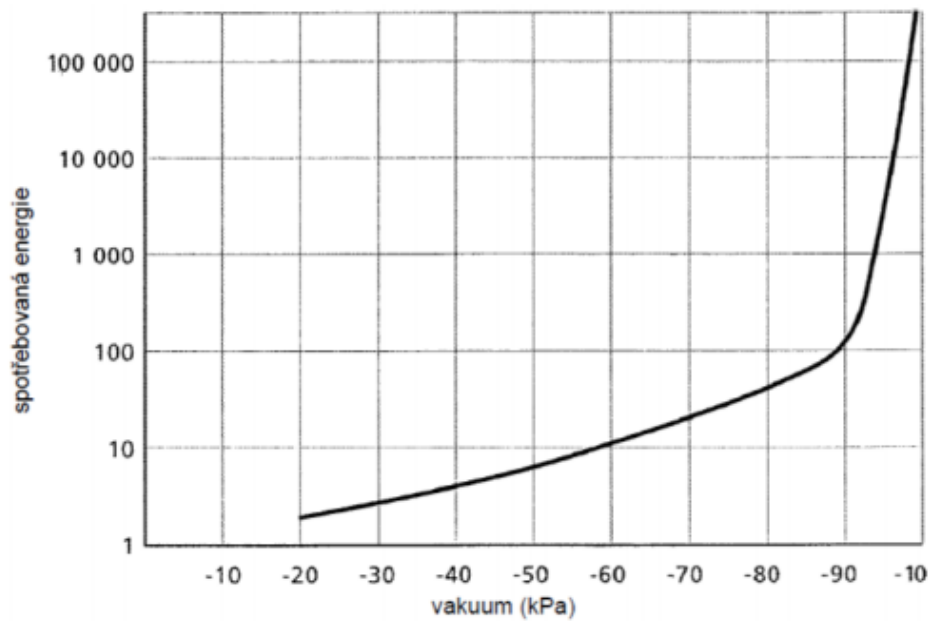


Obr. 73 Schéma samostatného zdroje  
vakua, [2]

## Hledisko spotřeby energie

Další částí návrhu je zohlednění spotřebované energie. S roustoucí úrovní vakua roste exponenciálně spotřeba energie zdroje vakua, Obr. 74. Pokud například zvýšíme úroveň vakua z  $-60$  kPa na  $-90$  kPa, pak zvýšíme sílu přísavky 1,5 krát. Avšak současně dojde ke zvýšení spotřebované energie až 10 krát. Zvýšená spotřeba energie má negativní vliv na opotřebení přísavky, a tím snižuje její životnost. V praxi je tedy vhodnější kombinace větších rozměrů přísavek a nižší hodnoty vakua, než naopak, [2].





Obr. 74 Závislost spotřebované energie na velikosti vakua, [2]

## Výpočet průměru přísavky

### Dle společnosti SMC

Vycházíme z určení hodnoty nosné síly přísavky  $F_h$  dle vztahu, [2]:

$$F_h = D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot p \cdot 0,001 \quad (1)$$

$F_h$  – teoretická nosná síla [N],

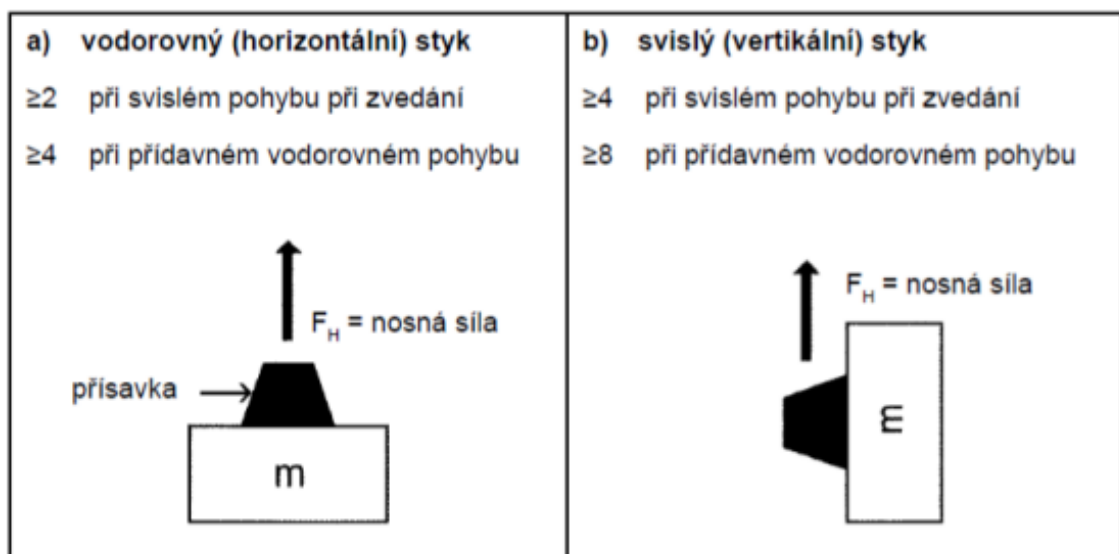
$D$  – průměr přísavky [mm],

$p$  – vakuum [kPa].

Skutečnou hodnotu nosné síly určíme vynásobením teoretické hodnoty nosné síly, Obr. 75, součinitelem bezpečnosti, Obr. 76. Volba součinitele bezpečnosti se odvíjí od způsobu styku přísavky a manipulovaného předmětu dle Obr. 76.

Ø přísavky (mm)		2	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	50
plocha přísavky (cm <sup>2</sup> )		0,031	0,126	0,283	0,503	0,785	1,33	2,01	3,14	4,91	8,04	12,6	19,6
vakuum (kPa)	- 85	0,264	1,07	2,41	4,28	6,67	11,3	17,1	26,7	41,7	68,3	107	167
	- 80	0,248	1,01	2,26	4,02	6,28	10,6	16,1	25,1	39,3	64,3	101	157
	- 75	0,233	0,945	2,12	3,77	5,89	9,98	15,1	23,6	36,8	60,3	94,5	147
	- 70	0,217	0,882	1,98	3,52	5,5	9,31	14,1	22	34,4	56,3	88,2	137
	- 65	0,202	0,819	1,84	3,27	5,1	8,65	13,1	20,4	31,9	52,3	81,9	127
	- 60	0,186	0,756	1,7	3,02	4,71	7,98	12,1	18,8	29,5	48,2	75,6	118
	- 55	0,171	0,693	1,56	2,77	4,32	7,32	11,1	17,3	27	44,2	69,3	108
	- 50	0,155	0,63	1,42	2,52	3,93	6,65	10,1	15,7	24,6	40,2	63	98
	- 45	0,14	0,567	1,27	2,26	3,53	5,99	9,05	14,1	22,1	36,2	56,7	88,2
	- 40	0,124	0,504	1,13	2,01	3,14	5,32	8,04	12,6	19,6	32,2	50,4	78,4

Obr. 75 Teoretická nosná síla přísavek [N], [2]



Obr. 76 Určení součinitele bezpečnosti (s), [2]

Do výpočtu se dále poměrně významným způsobem promítají ovlivňující faktory.

## **Působení větru**

Při manipulaci s více rozměrnými díly, může tlak vzduchu působící na plochu dílu při rychlém pohybu nebo při působení větru, způsobit odtrhnutí dílu od přísavek. Rizikem je poškození dílu a hrozící úraz pracovníka obsluhy [2].

## **Rázy**

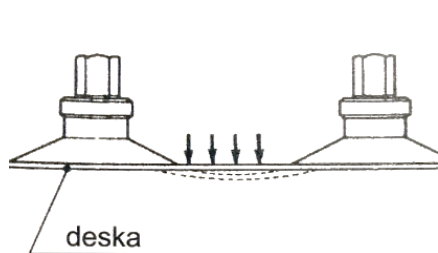
Nastávají zejména při zvedání dílů větších rozměrů Obr. 77 (desky, tabule skla, plechy apod.), [2].

## **Předměty z porézních materiálů (papír, polystyren apod.)**

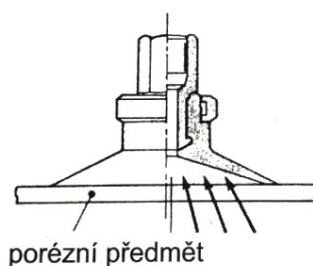
Aby při manipulaci s porézními materiály docházelo pouze k minimálním netěsnostem, je nutné použít malý průměr přísavek. Pro vyrovnání ztrát lze použít silnější vývěvu či ejektor, větší počet přísavek a nebo vhodné rozměry hadic a potrubí. Ve většině případů nelze teoreticky určit možné ztráty při přísávání, proto je nezbytné provést praktickou zkoušku, experiment Obr. 78, [2].

## **Předměty z měkkých či tvarově poddajných materiálů**

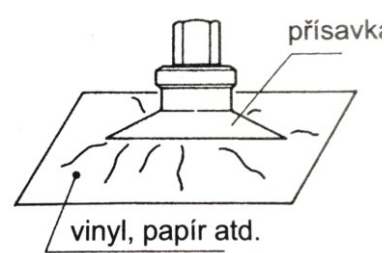
V tomto případě je vhodné použít větší počet přísavek a nižší hladinu vakua. Jako nejvhodnější pro manipulaci se jeví přísavky s opěrnými žebry Obr. 79, [2].



Obr. 77 Manipulace s velkými deskami, [2]



Obr. 78 Manipulace s předměty z porézního materiálu, [2]



Obr. 79 Manipulace s předměty z měkkých a tvarově poddajných materiálů, [2]

## Určení průměru přísavky dle SMC

Průměr přísavky pro praktický příklad dle výpočetního vztahu od SMC, [2]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot g \cdot s \cdot 1000}{\pi \cdot p \cdot n}} \quad (2)$$

D – průměr přísavky [mm],

p – vakuum [kPa],

m – hmotnost manipulovaného předmětu [kg],

g – gravitační zrychlení ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ),

n – počet přísavek [ks],

s – součinitel bezpečnosti [-], (viz Obr. 76).

Výpočet pro případ, kdy jsem pomocí 3 přísavek zvedal svazek trubek ve svislé poloze.

Při výpočtu průměru potřebných přísavek pro horizontální styk s manipulovaným předmětem, pro zvedání ve svislém směru, použiji koeficient bezpečnosti  $s = 2$ , Obr. 76. Výpočet provádím pro 70% hodnotu dosažitelného vakua. Při podmínkách zatížených ovlivňujícími faktory, by bylo nezbytné volit vyšší hodnotu bezpečnostního koeficientu, či vyšší hodnotu vakua.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot g \cdot s \cdot 1000}{\pi \cdot p \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,68 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot 1000}{\pi \cdot 70 \cdot 3}} =$$

$$D = 8,99 \text{ mm}$$

K výsledné hodnotě volím z katalogu společnosti SMC nejbližší vyšší průměr nabízených přísavek,  $D = 10 \text{ mm}$ , [19].

Přesné označení zvolené přísavky je ZP3-10US, což odpovídá standardní ploché přísavce s průměrem 10 mm, vyrobené ze silikonové pryže.

## Určení průměru přísavky dle FESTO

Výpočet průměru přísavky dle FESTO je koncipován pro použití pouze jedné přísavky. Dá se tedy očekávat, že výsledná přísavka bude přibližně 3x větší než u výpočtu dle SMC, kde jsem již do výpočtu zakomponoval fakt, že budu manipulovat se třemi přísavkami. Rozhodl jsem se tedy do výpočtu dle FESTO, za hmotnost předmětu, dosadit 1/3 celkové hmotnosti svazku trubek, tedy  $m = 0,23 \text{ kg}$ . Dle výsledné přídržné síly poté vyhledám potřebný rozměr přísavek z katalogu, [9].

V mém případě budu počítat situaci, kdy se jedná o vodorovný styk předmětu s přísavkou a pohyb ve svislém směru. Pro tento případ využiji výpočetní vztah, [9]:

$$F_H = m \cdot (g + a) \cdot s \quad (3)$$

$F_H$  – teoretická přídržná síla přísavky [N],

$m$  – hmotnost manipulovaného předmětu [kg],

$g$  – gravitační zrychlení ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ),

$a$  – akcelerace zařízení [ $\text{m/s}^2$ ],

$s$  – součinitel bezpečnosti [-], (viz Obr. 76).

Pro výpočet je nezbytné zvolit akceleraci zařízení a součinitel bezpečnosti. Dle FESTO volím empiricky zjištěnou hodnotu akcelerace pro pneumatický pohon,  $a = 30 \text{ m/s}^2$  a jako součinitel bezpečnosti pro horizontální styk s manipulovaným předmětem, pro zvedání ve svislém směru, použiji koeficient bezpečnosti  $s = 2$ , dle Obr. 76, [9].

$$F_H = m \cdot (g + a) \cdot s = 0,23 \cdot (9,81 + 30) \cdot 2 =$$

$$F_H = \mathbf{18,31 \text{ N}}$$

Tato přídržná síla byla určena pro 1/3 celkové hmotnosti svazku trubek. Celková přídržná síla tedy bude 54,93 N. Z katalogu budu volit přísavku, či kombinaci více přísavek, které dokáží vyvinout tuto celkovou přídržnou sílu.

V tomto případě mi nejvíce vyhovuje využití oválné ploché přísavky 15x45 mm, která dokáže vyvinout přídržnou sílu 32 N. Při použití dvou přísavek bude dosaženo dostatečné přídržné síly pro manipulaci se svazkem trubek.

Z katalogu tedy volím přísavku ESS·15x45·0, což odpovídá standardní oválné ploché přísavce se šířkou 15 mm, délkou 45 mm, vyrobené z pryže.

Níže uvádím tabulku s přehledem výsledků výpočtové části, Tab. 2.

Tab. 2 Přehled určených hodnot průměru přísavek dle SMC a FESTO

Výrobce	Průměr přísavky [mm]	
	Dle výpočtu	Dle katalogu katalogu
SMC	8,99	10
FESTO	-	15x45

## 9. Aplikace konfigurátorů od výrobců vakuové techniky pro praktický příklad

Níže budu aplikovat konfigurátory vakuové techniky pro svůj praktický příklad. Vzhledem k faktu, že nejvíce propracovaný konfigurátor nabízí FESTO, rozhodl jsem se, že tomuto konfigurátoru budu ve své práci věnovat daleko více prostoru, než jak tomu bude u konfigurátoru SMC či AVENTICS.

### 9.1 Konfigurátor FESTO

Jak jsem již zmínil výše, tento konfigurátor si zalouží největší pozornost, jelikož nabízí velice přehledný, uživatelsky přátelský, jednoduchý a možnostmi nabitý konfigurátor.

V první části návrhu jsem měl možnost poměrně hodně přesně nadefinovat manipulovaný předmět, tedy dle FESTO „výrobek“, Obr. 80. Tvar předmětu jsem určil jako kvádr, poté jsem zadal jeho přesný rozměr, kde jsem se orientoval podle přiloženého souřadného systému. Dále jsem zadal hmotnost, kterou si však také lze nechat spočítat dle hustoty použitého materiálu a objemu předmětu. Na závěr jsem určil koeficient tření, který je pro styk s kovem u všech nabízených materiálů přísavek roven hodnotě 0,5; Obr. 81.

tvár

kvádr

### výrobek

rozměry

délka (X) 360 mm

šířka (Y) 16 mm

výška (Z) 100 mm

hmotnost

☐ spočítat

hustota 1,181 g/cm³

objem 0,576 l

☒ známá

0,68 kg

- první str.
- výrobek
- uspořádání
- přísavka
- hadice
- vakuový ejektor
- pohyb
- pohon
- síly a momenty
- zatěž.přísavek
- kusovník

přímochaý pohyb ve směru X, Y nebo Z, rotace pouze v rovině XY

tření

koeficient tření

0,5

Odpovídající součinitel tření mezi přísavkou a materiálem výrobku lze najít ve srovnávací tabulce součinitelů tření. Klepněte zde na symbol tabulky.

Obr. 80 Definování parametrů manipulovaného předmětu v konfigurátoru FESTO, [20]

<div> koeficient tření <div>0,10 min</div> <div>1,40 max</div> </div>					
	materiál přísavky	materiál výrobku	koeficient min	koeficient max	koeficient typický
37	silikon	kov			0.5
38	polyuretan	kov			0.5
39	perbunan (NBR)	kov			0.5
40	neopren	kov			0.5
41	fluorkaučuk (FPM)	kov			0.5

Obr. 81 Volba hodnoty koeficientu tření pro konkrétní materiálový styk, [20]

Následně jsem se přesunul k volbě uspořádání a počtu přísavek, Obr. 82 Pro svou praktickou aplikaci jsem zvolil 3 přísavky, které jsem pomocí přípravku vyrobeného z jedné hliníkové trubky, spojil do jedné roviny vedle sebe viz Obr. 66, Obr. 67. FESTO nabízí možnost tzv. „ruční polohování“, díky ktermu budu později mít možnost, potažením kurzoru myši, upravit pozici přísavek na požadovanou.

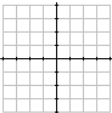
## uspoř.přísavek

**západka**

Rastr usnadňuje přesné umístění přísavky - je to podobné, jako když podložíte výkres papírem s milimetrovým čtverečkováním.

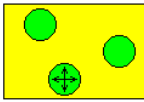
☐ polohu nezaklapnout  
☒ **kartézský**  
☐ polám.

5  mm



**strategie**

Pro přísavky jsou k výběru různá pevná uspořádání, např. uspořádání do kruhu nebo ve čtyřech rozích výrobku atd. Když si zvolíte "ruční umístění", budete moci později na stránce „Polohy přísavky“ libovolně měnit polohu jednotlivých přísavek.

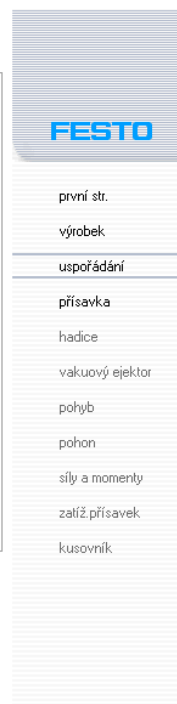


ruční polohování

3  počet

Výpočet jednotlivých přísavných sil na straně 10 pracuje správně jen tehdy, nejsou-li přísavky uspořádány do jedné řady, ale upínají jednu plochu. K tomu jsou potřebné nejméně tři přísavky.

**okolí:**  
zvolit požadované pořadí, počet a event. úhel, pak zvolit v "Comboboxu" "ručně polohovat" na straně 10 posunout přísavky



Obr. 82 Volba uspořádání a počtu přísavek v konfigurátoru FESTO

Poté jsem pokračoval volbou přísavky a hadice. U volby přísavky jsem měl jediný speciální požadavek, a tím je průměr přísavky, Obr. 83. Zvolil jsem hodnotu 15 mm, což je o 1 mm menší hodnota, než jakou disponuje šířka trubky na kterou budou všechny 3 přísavky při manipulaci dosedat. Volbou tohoto rozměru zajistím, že dojde k optimálnímu dolehnutí přísavky na manipulovaný svazek trubek. Dále mi konfigurátor nabízel možnost zvolit například materiál, tvar, vyrovnaní zdvihu, způsob přívodu vzduchu, konstrukční řešení držáku, apod. Tyto parametry jsem zvolil jako výchozí, jelikož jsem na ně neměl žádné specifické požadavky. Ze všech zadaných parametrů mi konfigurátor vybral nejvhodnější přísavky, které má FESTO v nabídce. Zvolil jsem tvarově standardní přísavku z polyuretanu, konstrukční řady ESG s vyrovnaním zdvihu 6 mm. Výsledkem volby je označení ESG-15-SU-HF, které je současně označením určeným pro oficiální objednávky z katalogu FESTO.

Následně jsem obdobným způsobem zvolil hadici, u které jsem taktáž neměl žádné specifické požadavky na materiál či konstrukční řešení, Obr. 84. Závěrem volby je standardní hadice s označením PAN-6X1-SW.



### ESG-15-SU-HF přísavka

průměr přísavky [mm] 15  
 materiál přísavky - žádný výběr -  
 tvar přísavky standard  
 vyrovnání zdvihu [mm] 6  
 přívod vzduchu -  
 držák přísavky HF  
 konstrukční řada ESG  
 filtr - žádný výběr -  
 vyrovnání úhlů - žádný výběr -  
 vložka do přísavky ne

Přísavky si můžete vybrat podle konkrétních parametrů (průměr, materiál, vyrovnání zdvihu, tvar přísavky atd.). Za tímto účelem program uvádí v jediné tabulce všechny přísavky, které splňují přesně vybrané parametry. Upozornění: Pořadí při zadání je libovolné. Není nutné, abyste uvedli všechny parametry.

zvoleno 20 mo ností ze 6305 - 20 vhodné pro výrobek

	vhodné pro výrobek	označení pro objednávky	konstrukční řada	velikost	tvar	materiál	vyrovnání zdvihu [mm]	přívod vzduchu
11	ano ✓	ESG-15-SNA-HF-F	ESG	15	standard	antistatický perbunan	6	-
12	ano ✓	ESG-15-SNA-HF-F-WA	ESG	15	standard	antistatický perbunan	6	-
13	ano ✓	ESG-15-SU-HF	ESG	15	standard	polyuretan	6	-
14	ano ✓	ESG-15-SU-HF-WA	ESG	15	standard	polyuretan	6	-

0.002 | celkový objem

Obr. 83 Volba přísavky v rozhraní konfiguratoru FESTO, [20]

### PAN-6X1-SW hadice

vnitřní průměr 4 mm  
 s vnitřní kalibrací ☐  
 kalibrováno vně ☐  
 barva - žádný výběr -  
 vhodn. pro potraviny ne  
 konstrukční řada - žádný výběr -

zvoleno 59 mo ností ze 453 - 50 hodí se pro přísavku

	hodí se pro přísavku	označení pro objednávky	konstrukční řada	vnitřní průměr	barva	kalibrace	vhodn. pro potraviny
1	✓	PAN-6X1-SW	PAN	0.004	čern.	vnitřní a vně	ne
2	✓	PAN-6X1-BL	PAN	0.004	modr.	vnitřní a vně	ne
3	✓	PAN-6X1-GN	PAN	0.004	zelen.	vnitřní a vně	ne
4	✓	PAN-6X1-NT	PAN	0.004	přírodní	vnitřní a vně	ne
5	✓	PAN-6X1-RT	PAN	0.004	červen.	vnitřní a vně	ne
6	✓	PAN-6X1-SI	PAN	0.004	stříbro	vnitřní a vně	ne

☒ celková délka hadice na přísavku 0,25 m  
☐ celková délka hadice 0,75 m

objem 0.009 |

Obr. 84 Volba hadice v rozhraní konfiguratoru FESTO, [20]

Jako poslední prvek obvodu jsem volil vakuový ejektor, Obr. 85. Tam jsem opět neměl specifické požadavky, a tak jsem si vystačil s nabídkou výchozích ejektorů. Vybral jsem ejektor s označením OVEM-05-H-B-GN-CE-N-1N, který dle výrobce dokáže vytvořit vakuum až 0,917 bar, neboli 91,7 kPa.

**OVEM-05-H-B-GN-CE-N-1N vakuový ejektor**

počet 1  
 provozní tlak 6 bar  
 vakuum -0,7 bar

el. ovlád. nap. vzduchem  
 vytukovací impuls  
 zapojení, které spojí vzduch  
 zpětný ventil  
 tlumiče hluku  
 filtr  
 konstrukční řada  
 připojení vakua  
 přívod stlačeného vzduchu  
 výstupní vakuový spínač  
 komparátor kritické hodnoty  
 Vacuum display

- žádný výběr -  
 - žádný výběr -  
 - žádný výběr -  
 - žádný výběr -  
 - žádný výběr -  
 - žádný výběr -  
 - žádný výběr -  
 - žádný výběr -  
 - žádný výběr -  
 - žádný výběr -  
 - žádný výběr -  
 - žádný výběr -  
 - žádný výběr -

Při výběru ejektoru musí být nejprve zadán počet ejektorů, provozní tlak a požadované vakuum. Další parametry (např. závitová připojení, výstupní signál, konstrukční skupina, integrovaný elektromagnetický ventil) mohou být zadány dodatečně v libovolném pořadí.

zvoleno 2562 mo nosti ze 2562 - 2500 hodí se pro hadici	hodí se pro hadici	označení pro objednávku	evakuační čas	vakuum max.	konstrukční skupina	elektromagnetický ventil, stlačený vzduch	vytukovací
1	ano	OVEM-05-H-B-GN-CE-N-1N	140 ms	-0,917 bar	OVEM	bez proudu sepnuto	elektric.
2	ano	OVEM-05-H-B-GN-CE-N-1P	140 ms	-0,917 bar	OVEM	bez proudu sepnuto	elektric.
3	ano	OVEM-05-H-B-GN-CE-N-2N	140 ms	-0,917 bar	OVEM	bez proudu sepnuto	elektric.
4	ano	OVEM-05-H-B-GN-CE-N-2P	140 ms	-0,917 bar	OVEM	bez proudu sepnuto	elektric.
5	ano	OVEM-05-H-B-GN-CE-N-NI	140 ms	-0,917 bar	OVEM	bez proudu sepnuto	elektric.

Obr. 85 Volba vakuového ejektoru v rozhraní konfigurátoru FESTO, [20]

Poté jsem dostal možnost nadefinovat požadovaný pohyb vakuového mechanismu, Obr. 86. Ve svém praktickém příkladě budu manipulovat se svazkem trubek ve svislém směru. Jako vzdálenost pohybu jsem zvolil 10 mm, což je dostatečná vzdálenost pro to, abych dokázal demonstrovat, že lze manipulovaný předmět, tedy svazek trubek, kontrolovaně vyzvednout ze země či z podložky.

## pohyb

lineárn.
rotace

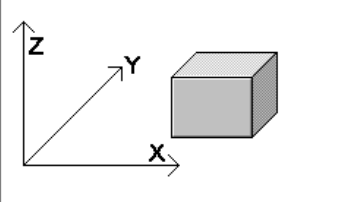
**pohybující se hmota**

Při výpočtu pohybující se hmotnosti je nutné zadat dodatečnou hmotnost držáku. Ta se zahrnuje přímo do výpočtu pohybující se hmoty.

0,05	kg	upevnění
0,168	kg	přísavka
0,680	kg	výrobek
0,898	kg	součet

**směr**

☐ vodorov. (osa X)  
☐ vodorov. (osa Y)  
☒ svisle (zvednout osu Z)  
☐ svisle (spustit osu Z)



**vzdálenost**

10

mm

←
→

FESTO

první str.

výrobek

uspořádání

přísavka

hadice

vakuový ejektor

pohyb

pohon

síly a momenty

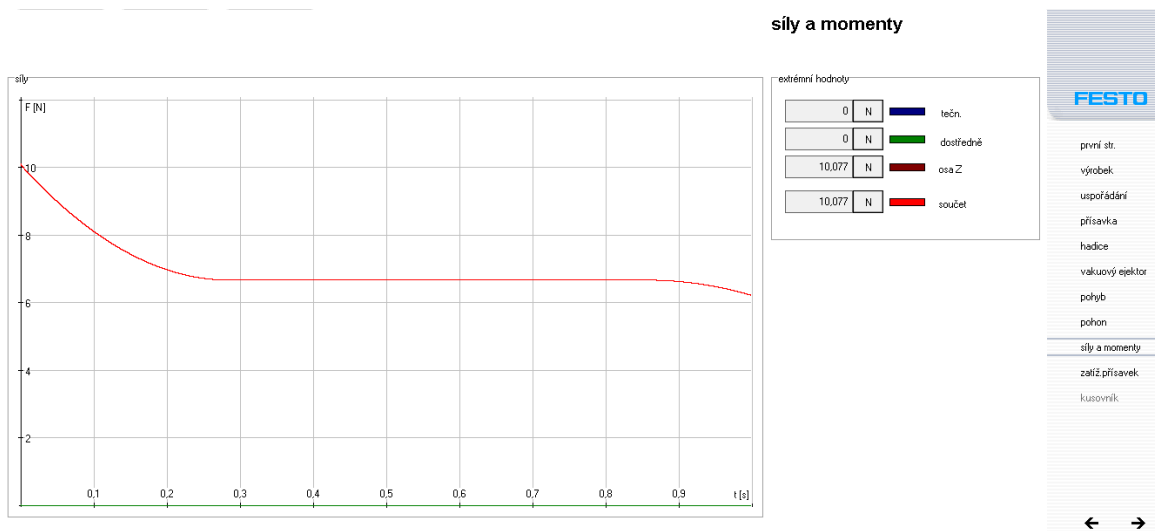
zatěž.přísavek

kusovník

Obr. 86 Definování požadovaného pohybu vakuového mechanismu v konfiguratoru FESTO, [20]

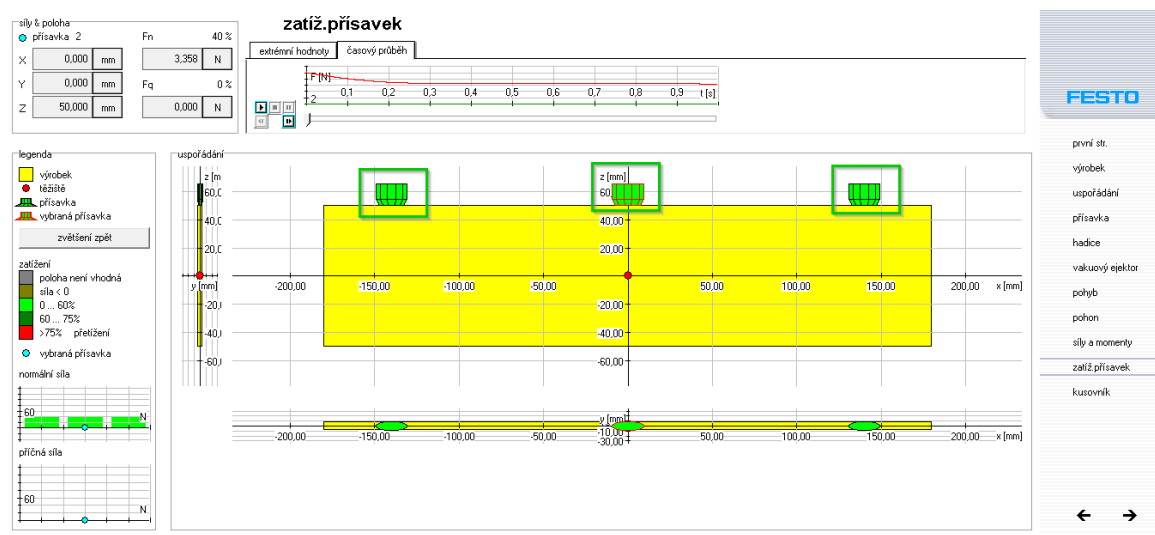
Následoval detailnější rozbor pohonu z pneumatické i elektrické stránky, což je ale bod, který mě v mé práci příliš nezajímá, a proto jsem se ho rozhodl přeskočit.

Poté jsem se již dostal k části, kdy mi byla nabídnuta přehledná tabulka s hodnotami sil a momentů, které budou mou aplikaci zatěžovat, Obr. 87. Vizualním výstupem k této tabulce je také graf průběhu sil v čase.



Obr. 87 Přehled extrémních hodnot sil a momentů s grafickým zpracováním formou grafu, rozhraní konfiguratoru FESTO, [20]

Předposlední částí celé volby byl přehledný pohled na způsob zatížení použitých přísavek při dané aplikaci, Obr. 88. Jelikož jsem si v jednom z předchozích bodů zvolil možnost tzv. „ruční polohování“, tak jsem teď dostal možnost upravit pozici všech 3 přísavek dle své libosti. Potažením kurzoru myši jsem upřesnil polohu obou krajních přísavek, znázorněno zeleně na Obr. 88.



Obr. 88 Přehled zatížení použitých přísavek v rozhraní konfiguratoru FESTO, [20]

Na závěr jsem dostal přehledný kusovník, zpracovaný formou tabulky, se všemi prvky, které jsem si v průběhu “proklikáváním se“ konfigurátorem, zvolil, Obr. 89. Nechyběla ani možnost přepnutí do „Online Shopu“ poklikáním na tlačítko pod kusovníkem, označeno zeleným rámečkem ve spodní části Obr. 89.

kusovník						
	č. dílu	označení pro objednávky	popis	délka X	množství	balicí jednotka
1	553913	PAN-6X1-SW	hadice		50 m	50 m
2	189172	ESG-15-SU-HF	přísavka		3	1
3	539074	OVEM-05-H-B-GN-CE-N-1N	vakuový ejektor		1	1

export CSV

Online Shop

FESTO

první str.

výrobek

uspořádání

přísavka

hadice

vakuový ejektor

pohyb

pohon

síly a momenty

zatížení přísavky

kusovník

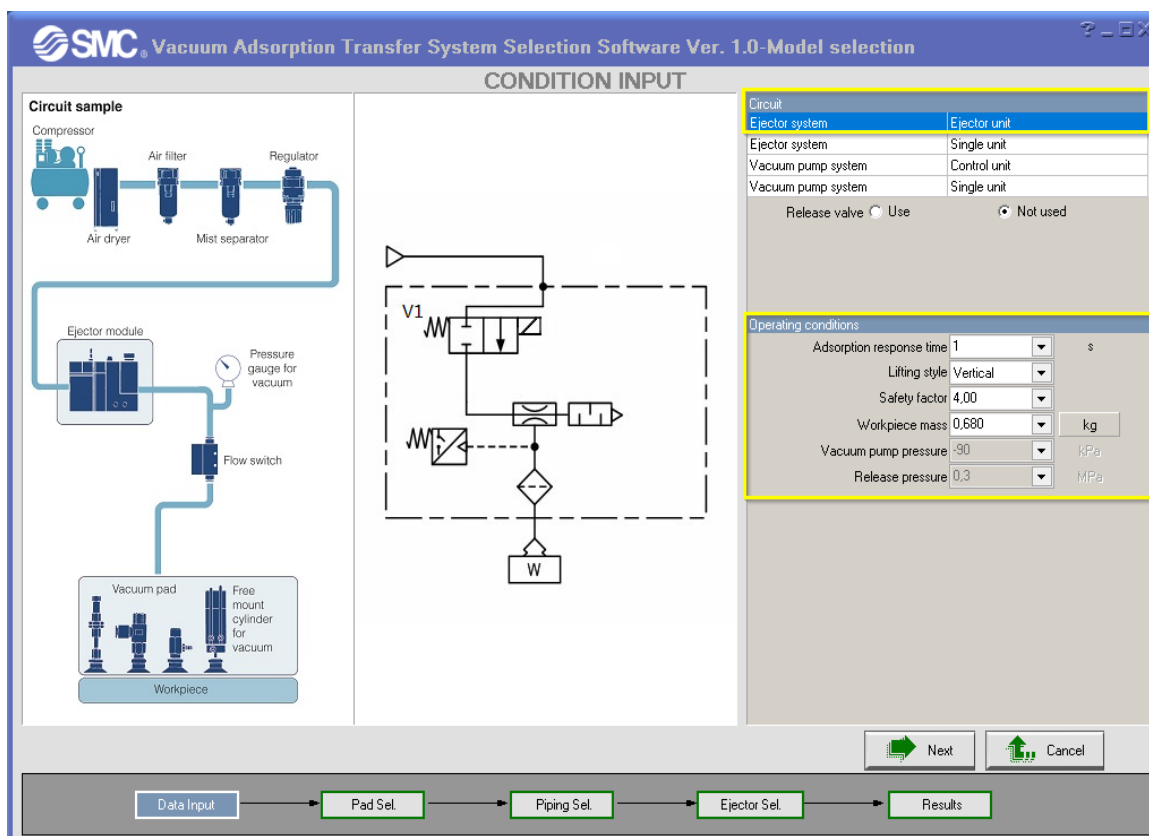
Obr. 89 Přehledný kusovník se všemi zvolenými prvky v rozhraní konfigurátoru FESTO, [20]

## 9.2 Konfigurátor SMC

U konfigurátoru SMC jsem provedl volbu prvků vakuového obvodu pro praktický příklad, obdobným způsobem, jako u konfigurátoru FESTO, viz výše.

Níže uvádím pouze velice stručný přehled všech kroků.

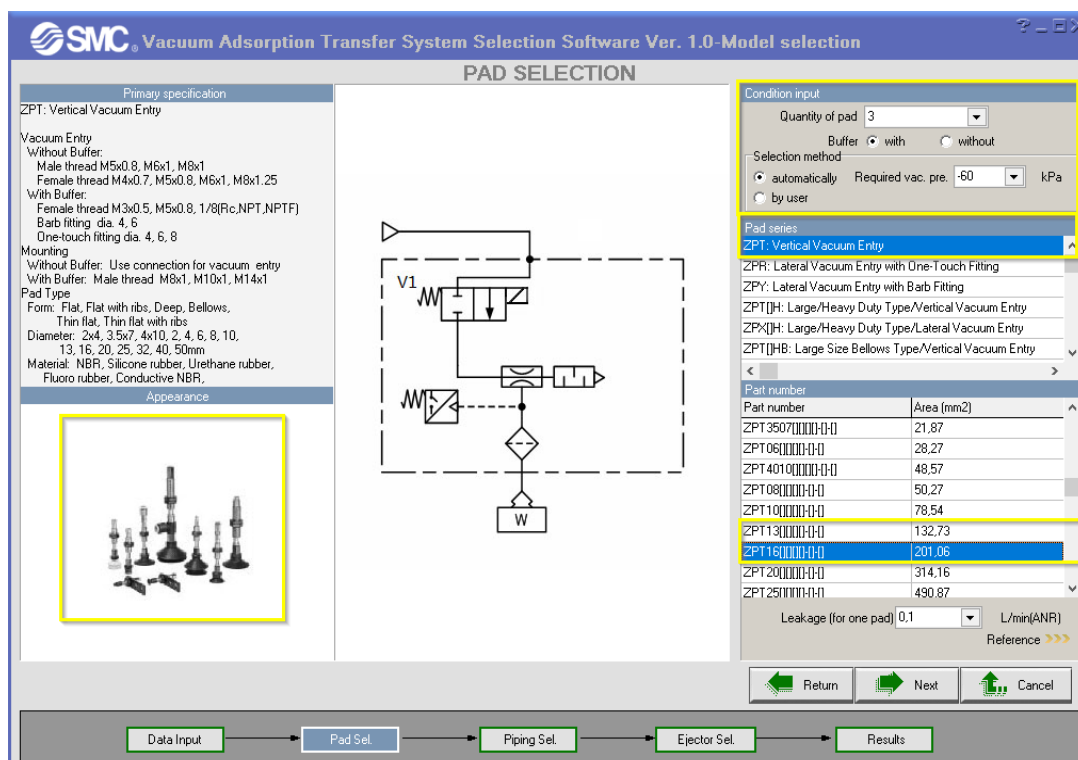
Nadefinování základních parametrů vakuového obvodu, jako například způsob zvedání, bezpečnostní faktor a v neposlední řadě také hmotnost manipulovaného předmětu, Obr. 90.



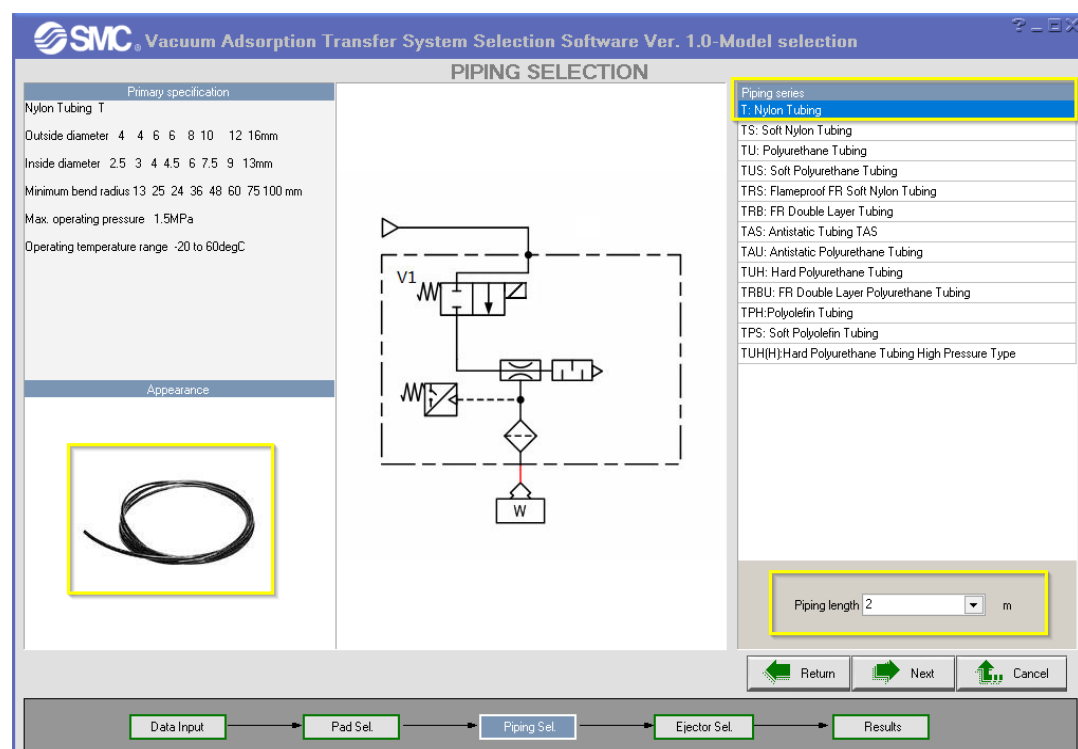
Obr. 90 Zadefinování základních parametrů vakuového obvodu v konfigurátoru od SMC, [21]

Volba počtu přísavek a konkrétní typ pro můj praktický příklad. Z nabídky jsem zvolil přísavku s průměrem 16 mm, což přesně odpovídá rozměru šířky trubky ve svazku, Obr. 91. V dalším kroku jsem z nabídky zvolil standardní nylonovou hadici, Obr. 92.

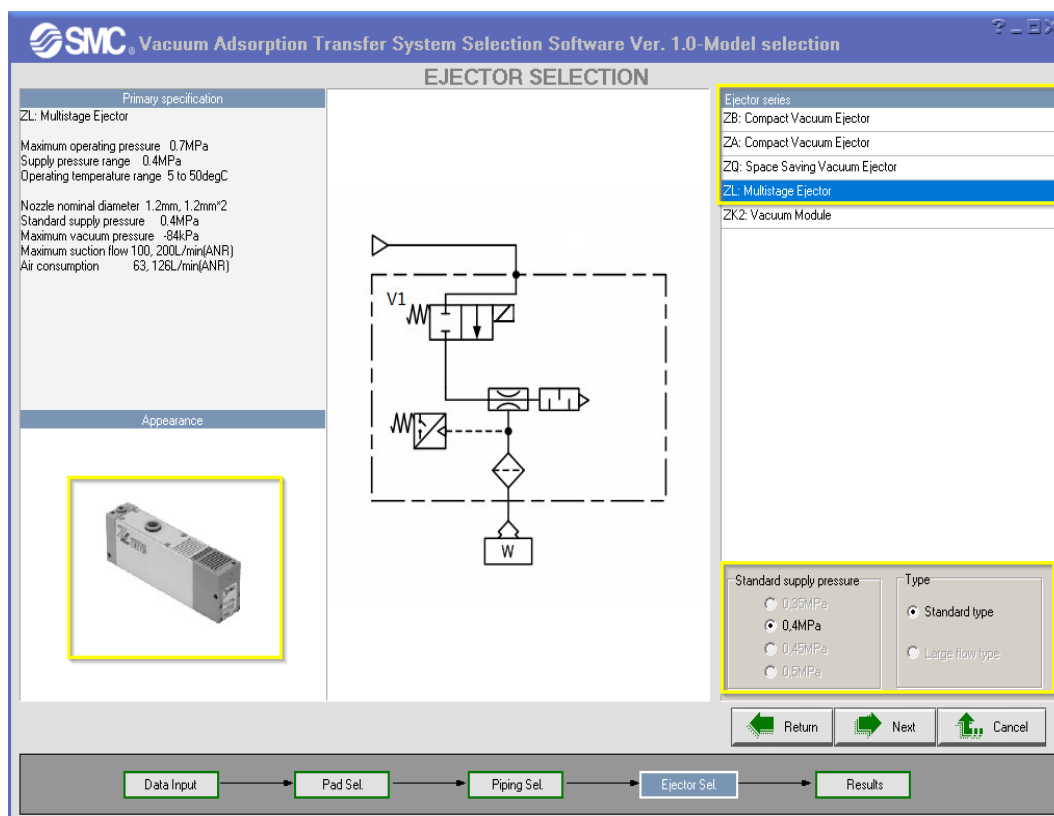
Jako poslední součást obvodu jsem zvolil ejektor, Obr. 93.



Obr. 91 Volba přísavky v rozhraní konfiguratoru SMC, [21]



Obr. 92 Volba hadice v rozhraní konfiguratoru SMC, [21]

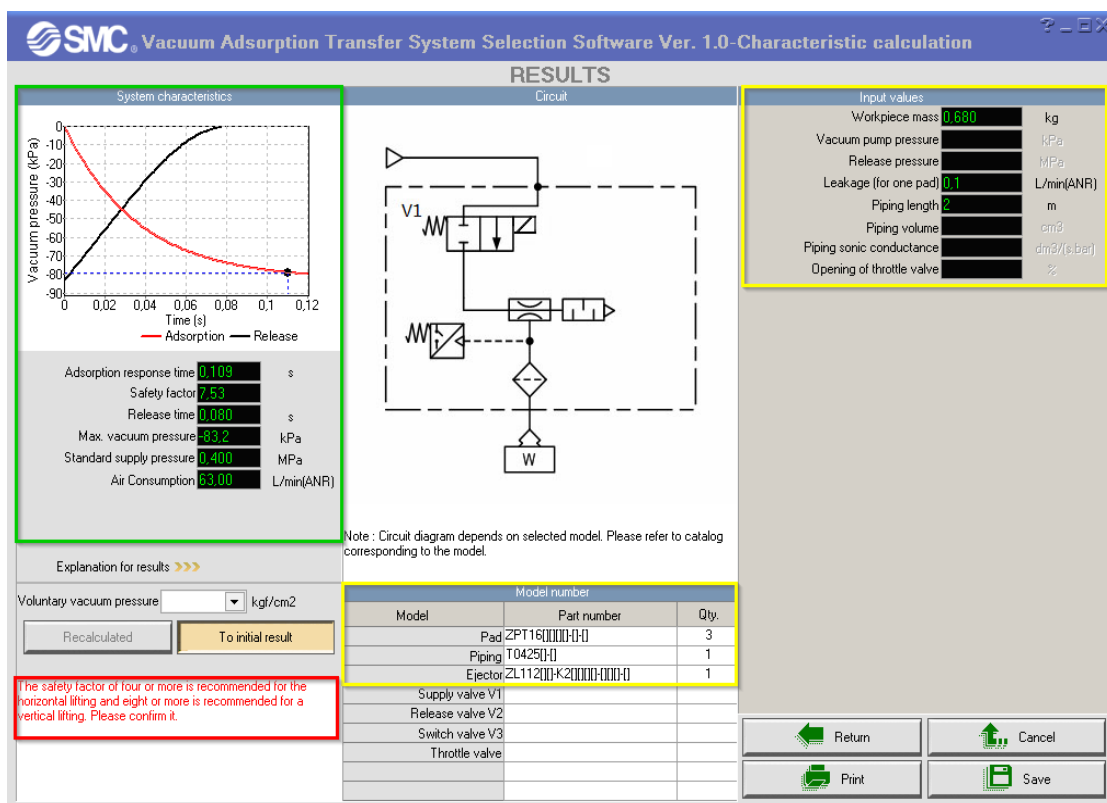


Obr. 93 Volba ejektoru v rozhraní konfigurátoru SMC, [21]

V závěrečném přehledu výsledných hodnot jsem byl upozorněn na mírně nižší faktor bezpečnosti mnou navrženého systému, Obr. 94. Dle konfigurátoru se tedy tento případ nejeví jako úplně bezpečný a mohlo by dojít k neúspěchu při snaze o manipulaci se zadaným svazkem trubek.

Ovšem taktéž je nezbytné přihlídnout k omezenému způsobu zadávání parametrů, které definují manipulovaný předmět. V tomto směru není konfigurátor od SMC dostačující, a proto беру toto varování s rezervou.

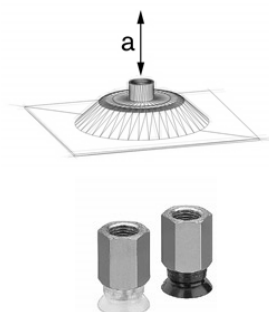




Obr. 94 Přehledný výstup z konfiguratoru SMC, [21]

### 9.3 Konfigurator AVENTICS

Při práci s tímto softwarem jsem se pohyboval pouze ve webovém rozhraní, Obr. 95. Aplikace na webu je velice jednoduchá a přehledná. Avšak nedisponuje dostatkem možností pro nadefinování řešeného problému. Hlavní problém je ve velice omezených možnostech pro zadávání parametrů manipulovaného předmětu, kdy lze zadat pouze hmotnost. Můj celkově špatný dojem vylepšila možnost zadání materiálu předmětu, rozsah okolní teploty a ráz povrchu manipulovaného předmětu. Dále jsem volil způsob pohybu, koeficient tření, bezpečnostní faktor, počet přísavek apod. Ze všech možných parametrů zadaných uživatelem, se postupně, u dalších volených parametrů, zužují nabízené možnosti, což poukazuje na logickou provázanost konfiguratoru, který k dané situaci nabízí pouze vhodné prvky, které jsou kompatibilní se všemi již zvolenými.



Notes	
<b>Workpiece:</b>	
Mass : (kg)	0.68
Material:	Metall dry
Temperature (C)	-10 to 70
Surface form:	Plane
<b>Application:</b>	
System Vacuum: (bar)	-6
Motion:	Vertical up/down
Orientation:	downwards
Deceleration a(m/s <sup>2</sup> )	50
Friction coefficient:	0.5
Number of suction cups:	3
Safety factor:	1.5
<b>Suction cup:</b>	
Series:	FSG
Material:	Perbunan
Thread:	Internal thread
Pre choice	None
<input type="button" value="Compute"/> <input type="button" value="New case"/>	

The program result may be seen as a recommendation for choice of components. AVENTICS may not be held liable for any damages occuring from the use of this program.

Obr. 95 Rozhraní software AVENTICS pro volbu prvků vakuového obvodu, [22]

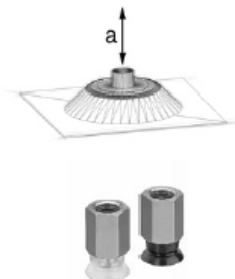
Výstupem je přehled ve formátu pdf, Obr. 96. Konfigurační stanoviště stanovilo uzvednutí daného případu s jistotou 76,6 %. Opět k tomuto výsledku budu přihlížet s rezervou, jelikož jsem nedostal možnost dostatečně přesně nadefinovat vstupní parametry.

Vacuum calculation program ver 1.1, Suction cup

Tue May 14 21:57:01 CEST 2019

Field for customer notes

Notes


**Workpiece:**

Mass : (kg) 0.68  
Material: Metall dry  
Temperature (C) -10 to 70  
Surface form: Plane

**Application:**

System Vacuum: (bar) -0.6  
Motion: Vertical up/down  
Deceleration a(m/s²) 50  
Friction coefficient: 0.5  
Number of suction cups: 3  
Safety factor: 1.5

**Suction cup:**

Series: FSG  
Material: Perbunan  
Thread: Internal thread  
Pre choice: None

The program result may be seen as a recommendation for choice of components. AVENTICS may not be held liable for any damages occurring from the use of this program.

Dimensioning data:	Value	Load %	Output data (suction cup):	
Required suction force /suction cup:	20.3	76.6	Name:	FSG25
Fs(N) ( Pu=-0.6bar)			Part number:	1 820 455 073
			Dimension: (mm)	25.0
			Thread:	G1/8

Obr. 96 Přehledný výstup všech zvolených a určých hodnot z konfiguratoru od AVENTICS, [22]

## 10.Souhrn dosažených výsledků

Níže uvádím celkový přehled dosažených výsledků pro rozměr přísavek dle výpočtů, konfiguratorů a katalogů od společností FESTO, SMC a AVENTICS, Tab. 3.

Tab. 3 Přehledný souhrn dosažených výsledků pro průměr přísavek

Společnost	Průměr přísavky, [mm]		
	Dle výpočtu	Dle katalogu	Dle konfiguratoru
FESTO	-	15x45	15
SMC	8,99	10	16
AVENTICS	-	-	25

## 11. Závěr

Úvodní část své práce jsem věnoval teoretické rešerši k problematice vakuových mechanismů. Zde jsem uvedl základní terminologii z této oblasti, následně stručný přehled způsobů realizace obvodů s využitím vakua a přehled používaných prvků s jejich vlastnostmi, významem a využitím v praxi. Na závěr teoretické části jsem provedl přehled tří nejčastěji používaných konfigurátorů pro simulaci vakuových obvodů, tedy konfigurátorů od společností SMC, FESTO a AVENTICS.

Po teoretické části nasledovala praktická aplikace. Pro svou práci jsem si zvolil rozbor a návrh řešení mechanismu pro kolaborativního robota, pro manipulaci se svazkem hliníkových trubek ve výrobním závodě společnosti, kde v současné době pracuji jako Procesní inženýr. Tento manipulační mechanismus bude součástí ramena kolaborativního robota, který je určen pro doplňování hliníkových trubek do zařízení pro výrobu chladících komponentů.

Pro tento příklad se nabízí více možností řešení. Například realizace mechanismu s využitím vakuových přísavek nebo čistě mechanické řešení s využitím úchopné hlavice s rukojetí či s chapadly. Vzhledem k tomu, že se má práce týká problematiky vakuových mechanismů, věnoval jsem se tedy řešení v této oblasti.

Účelem mé práce nebyla realizace celého kolaborativního robota, nýbrž pouze rozbor manipulačního mechanismu, který je jeho součástí. Konkrétně jsem se věnoval rozboru řešení s aplikací vakuových přísavek. Na úvod jsem provedl rozbor problému, kde jsem zkoumal vhodnost a realizovatelnost úchopu svazku ve vodorovném směru, tedy dle současného způsobu balení od dodavatele. Tato varianta se mi již od samého začátku jevila jako nevhodná, a to z důvodu mezer mezi jednotlivými trubkami ve svazku. Můj předpoklad, že merezy způsobí problémy s uzvednutím svazku, se nakonec potvrdil, svazek se vůbec nepodařilo uzvednout. Naopak varianta, kdy jsem se pokoušel svazek trubek uzvednout ve svislé poloze, byla úspěšná. Zde nedocházelo k žádným profukům a přísavky se takřka dokonale, i přes mírný přesah, způsobený nevhodným rozměrem použitých přísavek, přísála. Pokud bychom se tedy rozhodli realizovat manipulační mechanismus s využitím vakua, museli bychom změnit způsob dodávání trubek. Tato změna je poměrně velký zásah do výrobního procesu, což sebou nese jistá úskalí. Bylo by nezbytné provést důkladné prošetření všech dostupných informací a provedení celkové kalkulace nákladů, abychom

byli schopni provést relevantní závěr, který bude výhodný a akceptovatelný pro všechny zúčastněné strany.

Ve své práci jsem dále předpokládal, že se rozhodneme pro změnu způsobu dodávání svazků trubek, a tedy, že budeme odebírat trubky z balení ve svislé poloze. Pro tento případ jsem provedl návrh vakuových přísavek dle SMC a FESTO. Výsledkem byly hodně podobné rozměry přísavek. Dle SMC jsem zvolil standardní plochou přísavku s průměrem 10 mm, dle výpočtu od FESTO jsem nakonec zvolil oválnou plochou přísavku 15x45 mm. Rozdílné výsledky přičítám odlišným principům, na kterých jsou výpočetní vztahy, jednotlivých výrobců vakuové techniky, založené. Zatímco určení průměru dle SMC vychází z počtu použitých přísavek, z celkové hmotnosti předmětu a úrovně vakua, výpočet dle FESTO vychází z hmotnosti předmětu a příslušné hodnoty akcelerace. Dle mého názoru je důležité volit typ výpočtu s ohledem na zvoleného dodavatele vakuových komponentů. Tedy pokud zvolíme prvky od SMC, pak provedeme orientační výpočet dle jejich výpočetního vztahu a pokud naopak zvolíme prvky od FESTO, pak použijeme zase jejich výpočetní vztah.

V závěrečné části jsem provedl aplikaci všech tří konfigurátorů vakuové techniky pro svůj praktický příklad. Závěrem je jednoznačně velice pozitivní hodnocení variability konfigurátoru FESTO, který nabídl nejvíce možností pro nadefinování vstupních parametrů manipulovaného předmětu. Dále nabídl velice přehledné prostředí, jednoduché ovládání a přímé propojení konfigurátoru s online e-shopem. Naopak zbylé dva konfigurátory nabídl velice omezené možnosti pro nadefinování vstupních parametrů a celkově se dá říci, že se jejich zpracování velice vzdáleně přibližuje kvalitám konfigurátoru FESTO. Srovnání výsledků doporučených rozměrů přísavek pro můj praktický příklad ukazuje na fakt, že konfigurátory FESTO i SMC vybraly téměř stejný průměr přísavek, kdy FESTO nabízí přísavku průměru 15 mm a SMC 16 mm. V tomto směru se AVENTICS zásadně odlišuje, jelikož nabízí přísavku průměru 25 mm. Z tohoto důvodu hodnotím konfigurátory od FESTO a SMC jako vhodné pomocníky pro návrhy a konfigurace vakuových obvodů s využitím přísavek. Avšak celkový vítěz tohoto pomyslného testu je FESTO, které, dle mého názoru, své konkurenty „převálcovalo“ ve všech směrech. Úplně na závěr bych ještě rád zmínil porovnání výsledků průměrů přísavek dle výpočtů a dle konfigurátorů. Konkrétně výsledný průměr přísavky dle výpočtu od SMC je o 6 mm menší než výběr dle jejich konfigurátoru. I přes to, že jsou výsledné přísavky dle výpočtu a dle konfigurátoru od FESTO konstrukčně odlišné, tak mají jeden rozměr společný, a tím je šířka u oválné přísavky a průměr u kruhové přísavky. Lze tedy dosažené výsledky dle FESTO, narozdíl od výsledků dle SMC, považovat

za velice podobné. Tak či tak, všechny dosažené výsledky v této práci беру pouze jako orientační pro pomoc při řešení praktických aplikací týkajících se vakuové techniky.

## Použitá literatura

- [1] KOPÁČEK, Jaroslav. *Pneumatické mechanismy*. Dot. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1998. ISBN 80-7078-306-0.
- [2] KOLEKTIV, AUTORŮ. SMC training: Využití stlačeného vzduchu. 3. b.r.
- [3] MURRENHOFF, H., REINERTZ, O. *Fundamentals of fluid power: Part 2, Pneumatics*. Aachen: Shaker Verlag, 2014. ISBN 978-3-8440-3213-0.
- [4] Vakuum pro automatizaci, *Vakuumtechnik.cz* [online]. [cit. 2018-12-24]. Dostupné z: [http://www.vakuumtechnik.cz/download/piab/vakuum\\_pro\\_automatizaci\\_CZ.pdf](http://www.vakuumtechnik.cz/download/piab/vakuum_pro_automatizaci_CZ.pdf)
- [5] Přisavky, *Vakuumtechnik.cz* [online]. [cit. 2018-12-24]. Dostupné z: <http://www.vakuumtechnik.cz/download/piab/prisavky.pdf>
- [6] Přisavky brožura, *Vakuumtechnik.cz* [online]. [cit. 2018-12-24]. Dostupné z: [http://www.vakuumtechnik.cz/download/piab/PIAB\\_prisavky\\_brozura\\_CZ.pdf](http://www.vakuumtechnik.cz/download/piab/PIAB_prisavky_brozura_CZ.pdf)
- [7] Vakuová technika, *Proudové vývěvy – ejektory a jejich použití v praxi* [online]. [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~bousek/vak/CERPANI/EJEKTORY\\_HUDECEK.pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~bousek/vak/CERPANI/EJEKTORY_HUDECEK.pdf)
- [8] Vakuová fyzika II, *Získávání nízkých tlaků* [online]. [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: [http://physics.muni.cz/~dorian/Fialova\\_Vyvevy.pdf](http://physics.muni.cz/~dorian/Fialova_Vyvevy.pdf)
- [9] Často kladené otázky – vakuová technika, *Festo.com* [online]. [cit. 2018-12-24]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cms/cs\\_cz/9830.htm](https://www.festo.com/cms/cs_cz/9830.htm)
- [10] WUXI JN FAN CO., LTD, *Jnfan.net* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://cz.jnfan.net/centrifugal-fan/dust-exhausting-centrifugal-fan/centrifugal-fans-and-blowers-blower-exhaust.html>
- [11] Wikipedie – Otevřená encyklopedie, *Wikipedia.org* [online]. [cit. 2019-07-05]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Venturiho\\_efekt](https://cs.wikipedia.org/wiki/Venturiho_efekt)
- [12] Mattech, *Mattech.cz* [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://mattech.cz/produkty/klasicka-venturiho-trubice-152/>

- [13] WUXI JN FAN CO., LTD, *Jnfan.net* [online]. [cit.2019-05-06]. Dostupné z: <http://cz.jnfan.net/uploads/201712194/centrifugal-fans-and-blowers-blower-exhaust24493830750.jpg>
- [14] Wikipedie – Otevřená encyklopedie, *Wikipedia.org* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kau%C4%8Duk>
- [15] TENART, *Tenart.cz* [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://tenart.cz/technicke-plasty/produkty/polyuretan-pur/>
- [16] Static1.squarespace.com [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://static1.squarespace.com/static/5899e78b1b10e35238fba886/t/5a1f4dfd9619aaae97acdc8/1512001032119/warehouse+robot+shutterstock.jpg?format=750w>,
- [17] ROBOTICS ONLINE, *Robotics.org* [online]. [cit.2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.robotics.org/userAssets/ogImage/Is-a-Vacuum-Gripper-Right-for-Your-Collaborative-Robot-Application.jpg>
- [18] Katalog FESTO, *Festo.com* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/ESS-ESV\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/ESS-ESV_CZ.PDF)
- [19] Katalog SMC, *Vacuum Pad*, [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: [http://ca01.smcworld.com/catalog/en/vacuum/ZP3-E/6-4-p0297-0375-zp3\\_en/data/6-4-p0297-0375-zp3\\_en.pdf](http://ca01.smcworld.com/catalog/en/vacuum/ZP3-E/6-4-p0297-0375-zp3_en/data/6-4-p0297-0375-zp3_en.pdf)
- [20] FESTO Vacuum Selection software, *Festo.com* [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cms/nl-be\\_be/9537.htm](https://www.festo.com/cms/nl-be_be/9537.htm)
- [21] SMC Vacuum System Selection software, *SMC.eu* [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: [https://www.smc.eu/portal\\_ssl/webpages/01\\_products/engineering\\_tools/vacuum\\_components\\_selector/vacuum\\_components\\_selector.jsp](https://www.smc.eu/portal_ssl/webpages/01_products/engineering_tools/vacuum_components_selector/vacuum_components_selector.jsp)
- [22] AVENTICS Vacuum Calculation software, *Aventics.com* [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.aventics.com/computation/dispatcher/vacuum>



## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl vyjádřit svůj velký dík vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Kamilu Fojtáškoví, Ph.D. za jeho odborné vedení a poskytnuté konzultace, které byly velice podnětné a přínosné. Velký dík patří také mé rodině a blízkým, kteří mě v průběhu celého studia podporovali všemi možnými způsoby.